



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

ULB

Beiträge zur experimentellen und rechnerischen Untersuchung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken von Druckmaschinen

Rech, Helmut
(1971)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00013556>

Lizenz:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Namensnennung

Publikationstyp: Buch

Fachbereich: 16 Fachbereich Maschinenbau

Quelle des Originals: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/13556>

Beiträge zur experimentellen und rechnerischen Untersuchung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken von Druckmaschinen

Vom Fachbereich für Maschinenbau
an der Technischen Hochschule Darmstadt

zur

Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

DIPL.-ING. HELMUT RECH

aus Stryj Krs Lemberg

Referent:	Prof. Dipl.-Ing. K. Scheuter
Korreferenten:	Prof. Dr. W. Eschenbach Prof. Dr.-Ing. L. Göttching
Tag der Einreichung:	10.5.1971
Tag der mündlichen Prüfung:	8.11.1971

Darmstadt 1971

D 17

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt.

Für die Anregung dieser Arbeit sowie die stete Förderung möchte ich meinem verehrten Chef, Herrn Professor Dipl.-Ing. Karl R. Scheuter, und meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Wolfram Eschenbach, Dank sagen. Herrn Professor Dr.-Ing. L. Götsching danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes, die am Gelingen dieser Arbeit direkt oder auch indirekt beteiligt waren, möchte ich ebenfalls danken.

Dank gesagt sei ferner der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) und dem Bundeswirtschaftsministerium für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

Die erforderlichen Berechnungen wurden am Rechenzentrum der Technischen Hochschule Darmstadt sowie am Deutschen Rechenzentrum in Darmstadt durchgeführt.

Meiner Frau

Hiermit erkläre ich an Eides statt, daß ich
die vorliegende Arbeit — abgesehen von
den ausdrücklich genannten Hilfen —
selbständig verfaßt habe.

Wilmund Reiter

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Verzeichnis und Erläuterung der wichtigsten Symbole	7
1. Einleitung	11
2. Farbwerke und Stand der Technik	12
2.1 Funktion der Farbwerke	12
2.2 Aufbau der Farbwerke	13
2.3 Stand der Farbwerkforschung	15
3. Schichtdickenmeßverfahren	16
3.1 Die meßtechnische Aufgabenstellung und die an das Meßverfahren zu stellenden Forderungen	16
3.2 Bisherige Meßverfahren	16
3.2.1 Mechanische Meßverfahren	16
3.2.2 Optische Meßverfahren	18
3.2.3 Elektrische Meßverfahren	19
3.2.4 Radioaktive Meßverfahren	20
3.2.5 Photoelektrische Meßverfahren	22
3.2.5.1 Bewertung der Meßverfahren	24
3.3 Das Auflichtverfahren	24
3.3.1 Wahl der Meßstrahlgeometrie	24
3.3.1.1 Einfluß der Größe der Meßfläche	25
3.3.2 Auswahl des photoelektrischen Elementes und der Miniaturglühlampe	28
3.3.3 Maßnahmen zur Erzielung einer hohen Langzeitkonstanz	30
3.3.3.1 Spannungsversorgung der Phototransistoren und der Miniaturglühlampen	30
3.3.3.2 Ausschaltung der Temperaturdrift der Phototransistoren	32
3.3.4 Das Meßsystem	35
3.3.5 Verarbeitung des elektrischen Signales	36
3.4 Messung des Schichtdickenverlaufes auf dem Bedruckstoff	42
4. Die Modellmaschine	45
4.1 Aufbau und Funktion der Modellmaschine	45
4.2 Der Versuchsstand	47
5. Messung der Hilfsgrößen	48
6. Theoretische Überlegungen zur Berechnung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken	50
6.1 Bisherige theoretische Überlegungen	50
6.2 Eigene theoretische Überlegungen zur Berechnung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken	52
6.2.1 Die Farbübertragungsgleichungen	53
6.2.2 Theoretisches Modell zur Berechnung des Farbtransportes	56

	Seite
6.3 Kennziffern zur Bewertung der Schichtdickenverläufe und der Dichteverläufe längs des Bedruckstoffes	69
6.3.1 Diskussion der Kennziffern	72
6.4 Möglichkeiten einer absoluten Bewertung	73
6.4.1 Farbmétrische Bewertung	73
6.4.2 Informationstheoretische Bewertung	74
7. Farbtransportuntersuchungen an der Modellmaschine	78
7.1 Eichung der photoelektronischen Meßwertgeber	78
7.2 Farbtransportuntersuchungen	82
8. Farbtransportuntersuchung an einer Praxismaschine	95
9. Theoretische Untersuchungen zum Zwecke der Farbwerksoptimierung	98
9.1 Rückführungsfreies System	98
9.2 Verminderung der Schichtdickenschwankungen auf der Druckform durch günstige Wahl des Primärflusses	99
9.3 Abbau der Rückwirkungen von Störungen auf den Auftragswalzen	109
9.4 Abbau der Rückwirkungen von Störungen auf der Druckform	119
9.5 Diskussion der Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen	123
10. Zusammenfassung und Ausblick	125
11. Literaturverzeichnis	127
12. Lebenslauf	133

0. Verzeichnis und Erläuterungen der wichtigsten Symbole

A	[mm]	=	Halbe Breite des vorgegebenen Werteverlaufes
a	[1/ μm]	=	Druckglättezah
C(x)	[V]	=	Signalverlauf
c(s)	[V]	=	Absoluter Fehlerverlauf
D	[÷]	=	Optische Dichte
dai	[mm]	=	Auftragswalzendurchmesser
dri	[mm]	=	Reiberwalzendurchmesser
Ds	[%]	=	Prozentuale Störgröße
du	[μm]	=	Durchschnittliche Abweichung
e	[÷]	=	Euler'sche Zahl
ELPH(λ)	[%]	=	Spektrale Empfindlichkeitsverteilung des Lichtleiter-Phototransistor-Systems
EPH(λ)	[%]	=	Spektrale Empfindlichkeitsverteilung des Phototransistors
EL(λ)	[%]	=	Spektrale Transmissionsverteilung des Lichtleiters
F(x)	[mm ²]	=	Teilfläche
f(U _{nl})	[÷]	=	Verstärkungsfaktor
f0	[÷]	=	Formfaktor
f(m)	[%]	=	Mittlere Abweichung der gemessenen und gerechneten Schichtdickenverläufe auf der Druckform vor der Druckzone
f(m-p)	[%]	=	Mittlere Abweichung der gemessenen und gerechneten Schichtdickenverläufe auf der Druckform nach der Druckzone

$f(p_1)$	[%]	=	Mittlere Abweichung der gemessenen und gerechneten Schichtdickenverläufe auf dem Bedruckstoff
$H(x_1)$	[bit/Ereignis]	=	Informationsgehalt
$Hx_{1,2}(y)$	[bit/Ereignis]	=	Irrelevanz
$H(y_2)$	[bit/Ereignis]	=	Irrelevanz
IA	[÷]	=	Schritte auf abgewickeltem Umfang der Walze A
JA	[÷]	=	Umdrehungsindex für Walze A
JB	[÷]	=	Umdrehungsindex für Walze B
K	[÷]	=	Zwischenwert zur Indexrechnung
Ka	[÷]	=	Auftragskoeffizient
Kr	[÷]	=	Verreibungskoeffizient
KA	[÷]	=	Schrittzahlindex für Walze A
KB	[÷]	=	Schrittzahlindex für Walze B
KG1	[÷]	}	= Der Walze G zugeordnete Schrittzahlindices
KG2	[÷]		
KG3	[÷]		
KG4	[÷]		
L	[mm]	=	Summe der Walzenumfänge
LG1	[÷]	}	= Der Walze G zugeordnete Verschiebstrecken
LG2	[÷]		
LG3	[÷]		
LG4	[÷]		
m	[µm]	=	Farbangebot auf der Druckform

m_1	$[1/\mu\text{m}]$	=	Farbabhängiger Faktor
N	$[\div]$	=	Gesamtzahl aller absolvierten Schritte auf der Bezugswalze
p	$[\mu\text{m}]$	=	Farbschichtdicke auf dem Bedruckstoff
P/b	$[\text{kp/mm}]$	=	Liniendruck
$p(x_i)$	$[\div]$	=	Häufigkeit der Ereignisse x_i
q_i	$[\div]$	=	Gütegrad
q	$[\mu\text{m}^2]$	=	Varianz der Schichtdicke
Q_s	$[\mu\text{m}]$	=	Standardabweichung
R	$[\text{mm}]$	=	Radius der Meßfläche
$r(s)$	$[\%]$	=	Prozentualer Fehler
s	$[\mu\text{m}]$	=	Farbschichtdicke allgemein
S_1, S_2, S_3, S_4	$[\mu\text{m}]$	=	Farbschichtdicken
SAB	$[\mu\text{m}]$	=	Summenwert zweier Farbschichtdicken
SO	$[\mu\text{m}]$	=	Spaltweite
$Sr(i)$	$[\mu\text{m}]$	=	Rechnerischer Schichtdickenverlauf
$Sg(i)$	$[\mu\text{m}]$	=	Gemessener Schichtdickenverlauf
$SAV(KA)_{JA}$	$[\mu\text{m}]$	}	= Indizierte Farbschichtdicken auf den Walzen A und B
$SBV(KB)_{JB}$	$[\mu\text{m}]$		
$SAN1(KA)_{JA}$	$[\mu\text{m}]$		
$SBN1(KB)_{JB}$	$[\mu\text{m}]$		
$U_{nl}(s)$	$[V]$	=	Ausgangsspannung des Summierverstärkers
$U_{pH}(s)$	$[V]$	=	Ausgangsspannung des Phototransistors

U_0	[V]	=	Überlagerungsspannung
$U_{lin}(s)$	[V]	=	Ausgangsspannung nach Diodenfunktionsgenerator
U_∞	[V]	=	Sättigungsspannung
v	[÷]	=	Farbübertragungsverhältnis
v_1, v_2	[m/sec]	=	Walzenumfangsgeschwindigkeit
W_o	[μm]	=	Maximal wegschlagbare Farbmenge
x_{mittel}	[μm]	=	Arithmetischer Mittelwert der Farbschichtdicke
x_{qumi}	[μm]	=	Quadratischer Mittelwert der Farbschichtdicke
x_{max}	[μm]	=	Maximale Farbschichtdicke
x_{min}	[μm]	=	Minimale Farbschichtdicke
x	[÷]	=	Korrekturfaktor
$Z(x)$	[V]	=	Werteverlauf
a	[÷]	=	Farbspaltungskoeffizient
ϵ	[÷]	=	Dielektrizitätskonstante
η	[%]	=	Ungleichförmigkeitsgrad
η_F	[Poise]	=	Zähigkeit
ψ	[÷]	=	Schichtdickenbezogene Standardabweichung

1. Einleitung

Beim Druckvorgang wird von der Druckform auf den Bedruckstoff Farbe übertragen. Aufgabe des Farbwerkes ist es, die druckenden Formelemente stets mit frischer Farbe zu versorgen, damit der Druckprozeß aufrecht erhalten werden kann. Von großer Bedeutung für die Brauchbarkeit eines Farbwerkes ist seine Einfärbequalität. Unter diesem Sammelbegriff versteht man eine Reihe von Merkmalen, welche bei der Beurteilung des Druckproduktes von Bedeutung sind [1]. Einer der wichtigsten Faktoren zur Bewertung eines Farbwerkes ist das auf das Druckprodukt übertragene Farbschichtdickenrelief. Im Idealfall soll jedes druckende Formelement eine konstante Schichtdicke übertragen. Um diese Forderung in der Praxis zu erfüllen, hat man recht unterschiedliche Wege einzuschlagen. Haupteinflußgrößen für die Art des Farbtransportes sind die Farbwerksgeometrie, die Art der Farbzufuhr in das Farbwerk, die Geometrie der Druckform, die Farbübergabeeigenschaften der verwandten Walzenmaterialien sowie das Farbübertragungsverhalten auf den Bedruckstoff.

Die Druckformen entnehmen nur an den druckenden Stellen Farbe aus dem Farbwerk. An den nichtdruckenden Stellen wird der Farbfluß unterbrochen, so daß auf den Walzen des Farbwerkes ein Schichtdickenrelief entsteht. Dieses erzeugt bei der nächsten Farbübertragung auf die druckenden Flächen eine ungleichmäßige Schichtdicke, die sich unliebsam und qualitätsmindernd im Druckbild bemerkbar macht. Diese Rückwirkung tritt bei allen bekannten Farbwerken mehr oder weniger stark auf. Sie macht sich besonders dann bemerkbar, wenn eine verhältnismäßig grobe Unterteilung der Druckform vorliegt. Zur praktischen Prüfung werden deshalb sogenannte „kritische“ Druckformen herangezogen.

Betrachtet man die üblichen Farbwerke, welche sich im Laufe der Jahre durch die praktische Erfahrung herausgebildet haben, so erkennt man die außergewöhnlich große Vielfalt der Typen. Die Bewertungsmethoden, welche zur Beurteilung der Brauchbarkeit eines Farbwerkes benutzt wurden, beschränkten sich auf eine rein visuelle Beurteilung des Druckproduktes bzw. auf eine Dichtemessung über die Drucklänge. Beide Methoden geben dem Konstrukteur nur undeutliche Hinweise für den zur Optimierung zu beschreitenden Weg.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, ein theoretisches Modell zur Berechnung des Farbtransportvorganges zu entwickeln und dieses mit experimentellen Untersuchungen nachzuprüfen. Der erste Teil der Arbeit befaßt sich mit der Farbschichtdicken- und Farbtransportmessung.

Im zweiten Abschnitt wird ein theoretisches Modell zur numerischen Berechnung des Farbtransportvorganges behandelt.

2. Farbwerke und Stand der Technik

Die Hauptaufgabe eines Farbwerkes besteht in der Erzeugung einer dünnen Druckfarbschicht wählbarer Dicke zur Belegung der Druckform. Beim Offsetdruck-, Hochdruck- sowie Flexodruckverfahren wird dazu ein System von abwechselnd starren und elastischen, aufeinander abrollenden Walzen, ein sogenanntes Walzenfarbwerk angewandt. Ein solches Walzenfarbwerk lässt sich grundsätzlich in drei Sektionen, nämlich Zufuhrsystem, Transportsystem und Auftragssystem unterteilen.

2.1 Funktion der Farbwerke

Die Funktionsweise der Walzenfarbwerke soll im folgenden kurz erläutert werden. Im Farbwerk nach Bild 2.1 erfolgt die Farbzufuhr diskontinuierlich durch die oszillierende Heberwalze H, die einen Farbstreifen von der Duktoralze D empfängt. Dieser Streifen wird dann an die Stahlwalze S_O übergeben. Die Farbdosierung erfolgt durch Variation des Duktorspaltes a , der Winkelgeschwindigkeit φ der Duktoralze sowie auch durch Variation der Taktzeit der oszillierenden Heberwalze.

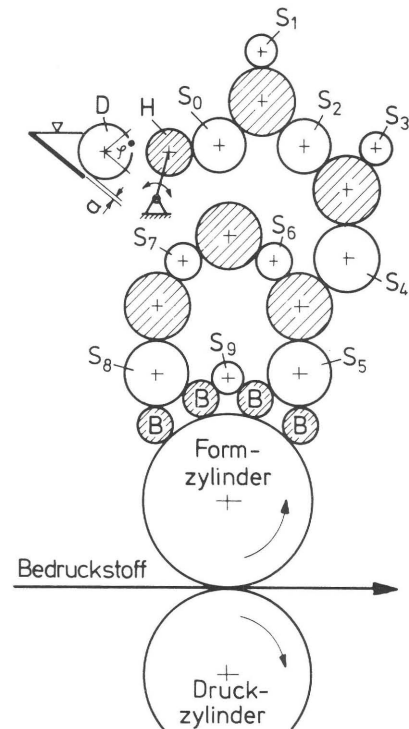
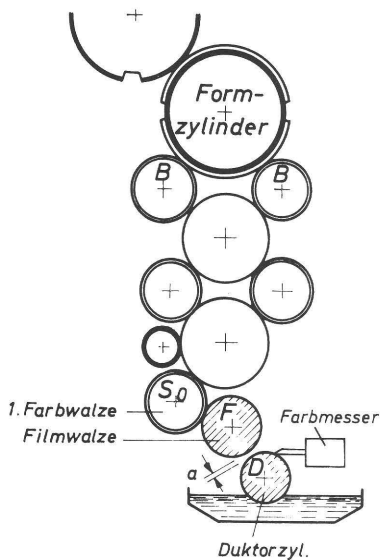


Bild 2.1:
*Schema eines Farbwerkes mit
diskontinuierlicher Farbzufuhr*

Da alle Walzen mit Ausnahme der Walzen D und H die Umfangsgeschwindigkeit des Formzylinders besitzen, wird der aufgetragene Farbstreifen mehrfach gespalten und umgelagert, so daß die Auftragwalzen B den druckenden Elementen des Formzylinders eine vergleichsweise gleichmäßige Farbbelegung erteilen. In der Druckzone erfolgt die Farbübertragung auf den Bedruckstoff. Da diese Übertragung nicht vollständig ist – wie eben jede Übertragung im Farbwerk – verbleibt nach dem Abdruck eine Restfarbmeng e auf den druckenden Elementen des Formzylinders, welche von der neu zugeführten Druckfarbe überlagert wird.

Die Farbzufuhr wird bei Hochleistungsmaschinen oft durch kontinuierliche Systeme bewirkt, da diese geringeren Geschwindigkeitsbegrenzungen unterliegen. In der Praxis wurden mehrere Systeme hierfür entwickelt, z.B. Rillenwalzenfarbwerke, Pumpfarbwerke und Filmfarbwerke (Bild 2.2).



Bei dem System des Filmfarbwerkes wird die Farbzufuhr durch die Filmwalze vorgenommen. Zwischen der Duktoralwalze D und der Filmwalze F wird ein geringer Arbeitsspalt a eingehalten. Die Dosierung der Farbzufuhr erfolgt durch Variation der Umfangsgeschwindigkeit der Duktoralwalze und der Farbmesserspaltweite.

Dieses System gestattet es, der ersten Farbwalze S_0 des Transportsystems einen relativ gleichmäßigen Farbfilm zuzuführen. Der Farbtransport sowie der Farbauftrag erfolgt dann analog dem eingangs erwähnten Beispiel.

Bild 2.2:
Schema eines Farbwerkes mit kontinuierlicher Farbzufuhr

2.2 Aufbau der Farbwerke

Betrachtet man die in Bild 2.3 dargestellten Farbwerktypen, so kann man feststellen, daß jedes Farbwerk einen anderen konstruktiven Aufbau besitzt. Ferner ist ersichtlich, daß zwischen Hochdruckfarbwerken und Offsetfarbwerken kein grundlegender Unterschied besteht, wenn man davon absieht, daß Offsetfarbwerke meist mehr Walzen be-

sitzen als Hochdruckfarbwerke.

Die Farbwerkschemata in der oberen Bildhälfte stellen Hochdruckfarbwerke dar. Ihnen sind Offsetfarbwerke in der unteren Bildhälfte gegenübergestellt. Die elastischen Walzen (Gummiwalzen) sind schraffiert.

Die recht unterschiedliche Ausbildung der Farbwerke dürfte zunächst sehr stark vom geplanten Verwendungszweck der Druckmaschine beeinflusst worden sein. Druckmaschinen, welche vornehmlich nur für Drucksachen minderer Qualität konzipiert wurden, besitzen meist auch nur ein sehr einfaches Farbwerk. Hingegen wird bei denjenigen Maschinen, welche höchsten Qualitätsansprüchen gerecht werden sollen, ein sehr kompliziertes Farbwerk mit sehr vielen Walzen gewählt. Dabei spielen die Gesichtspunkte der Speicherkapazität der Farbwerke sowie der gestuften Farbzugabe durch die einzelnen Farbauftragswalzen auf die Druckform bei der Konzeption dieser Farbwerke eine große Rolle.

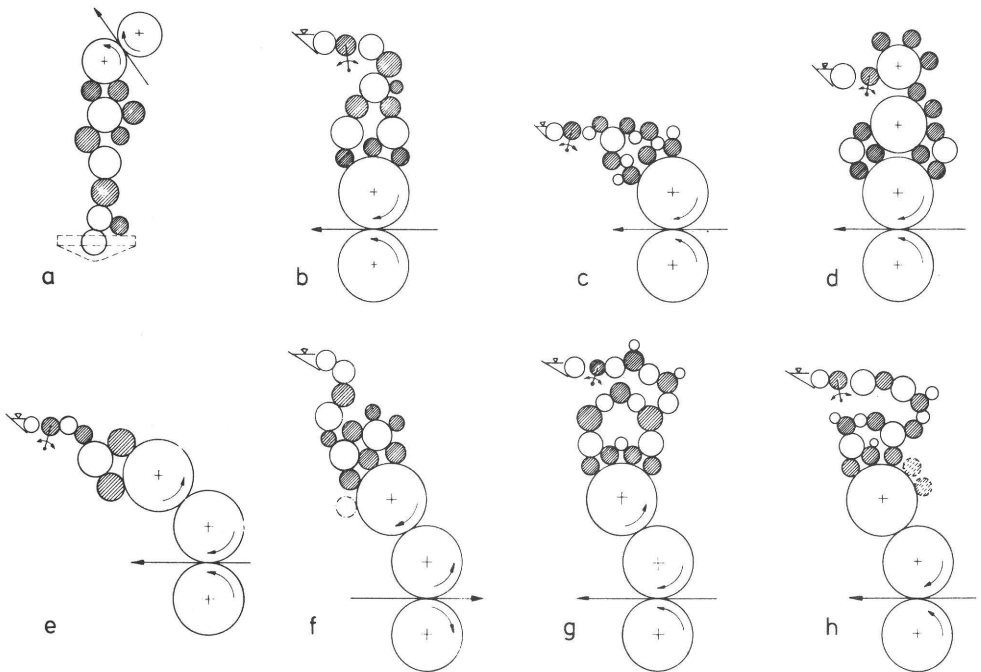


Bild 2.3: Beispiele für Walzenfarbwerke: a – d Hochdruckfarbwerke
e – h Offsetdruckfarbwerke

Abgesehen von konstruktiven Zwängen, denen bei der Konzeption Rechnung getragen werden mußte, mögen wohl oft auch patentrechtliche Überlegungen bei der Ausbil-

derung der Farbwerke von Wichtigkeit gewesen sein. Da außerdem dem Konstrukteur keine exakten Methoden zur Analyse von Farbwerken zur Verfügung standen, sind alle Entwicklungen durch die Auswertung von Praxisversuchen entscheidend beeinflußt worden.

2.3 Stand der Farbwerkforschung

Die ersten Untersuchungen auf dem Gebiete der Farbwerkforschung waren dem Spaltungsverhalten der Druckfarbe zwischen zwei Walzen gewidmet. Zunächst wurde gefunden, daß der Kontinuitätssatz volle Gültigkeit besitzt, denn die einem Walzenspalt zugeführte Farbmenge verläßt diesen wieder vollkommen. Nach der Kontaktzone kommt es dann zu einer annähernd hälftigen Aufteilung des Gesamtfarbfilmes, welcher die Summe der einlaufenden Schichtdicken darstellt. Die Untersuchungen verschiedener Forscher [2, 3, 4] ergaben im wesentlichen dieses Ergebnis, das wiederum als Ausgangsbasis für sehr vereinfachte theoretische Überlegungen diente, auf die in Kap. 6.1 noch näher eingegangen wird.

Andere Untersuchungen dienten der Erforschung des Farbübertragungsvorganges von der Druckform auf den Bedruckstoff. Walker und Fetzko [5] gelang es, diesen komplizierten Übertragungsvorgang mit einer recht aufwendigen Näherungsformel, welche drei Kennwerte enthält, zu beschreiben. Spätere Untersuchungen [6, 7, 8, 9] zeigten, daß der Vorgang der Farbübertragung von verschiedenen maschinentechnischen Gegebenheiten, von den rheologischen Eigenschaften der Druckfarbe und von den dem Bedruckstoff innewohnenden Eigenschaften abhängig ist.

Meist bediente man sich zur Messung des Übertragungsverhaltens kleiner Probedruckgeräte, die jedoch die wirklichen Verhältnisse in einer Druckmaschine nur unzureichend widerspiegeln können. Eigene vergleichende Untersuchungen [10] ergaben recht abweichende Ergebnisse bei Probedruckapparaten einerseits und bei einer kleinen Rollenrotationsmaschine andererseits. Die Übertragungseigenschaften des Gummituches beim Offsetdruckverfahren können ebenfalls in weiten Grenzen variieren [11, 12].

Doch all diese Untersuchungen gaben nur Aufschlüsse über das Farbübertragungsverhalten in einer Kontaktzone. Das äußerst komplizierte Problem des Farbtransportvorganges in Walzenfarbwerken konnte durch diese Untersuchungen nicht erhellet werden.

Um nun Zusammenhänge allgemeiner Art beim Transportvorgang in Farbwerken zu gewinnen, war es zunächst notwendig, die Absolutwerte der Farbschichtdicken auf den Walzen einer laufenden Maschine zu bestimmen.

Aus diesem Grunde werden die verschiedenen Schichtdickenmeßverfahren kurz erläutert.

3. Schichtdickenmeßverfahren

Im folgenden werden nur solche Schichtdickenmeßverfahren behandelt, die es gestatten, nichttrockene, also verformbare dünne Schichten zu messen. Um jedoch die Eignung der Meßverfahren beurteilen zu können, müssen die Meßaufgabe sowie die aus ihr resultierenden Forderungen erläutert werden.

3.1 Die meßtechnische Aufgabenstellung und die an das Meßverfahren zu stellenden Forderungen

Ein Teil dieser Arbeit ist der meßtechnischen Erfassung des Farbtransportvorganges gewidmet. Gemessen werden soll dieser Vorgang zunächst nur in einer dafür entwickelten Versuchsmaschine, deren Aufbau und Wirkungsweise in Kapitel 4 erläutert werden.

Die Messung des Farbtransportvorganges ist im Grunde genommen eine Messung der Farbschichtdicken an verschiedenen Stellen des Farbwerkes. Somit können folgende Forderungen an das Schichtdickenmeßverfahren abgeleitet werden:

- a) Berührungslose Messung
- b) Trägheitsarmut
- c) kleine Abmessungen der Meßwertgeber (Miniaturisierung)
- d) hohe Temperaturkonstanz
- e) linearer Zusammenhang zwischen Schichtdicke und angezeigtem Wert
- f) gleichzeitige Messung mehrerer Schichtdicken
- g) hohe Reproduzierbarkeit und Langzeitkonstanz
- h) einfache Eichmöglichkeit
- i) Meßverfahren, die praxisfremde Walzenmaterialien voraussetzen, sind unzulässig.

3.2 Bisherige Meßverfahren

3.2.1 Mechanische Meßverfahren

Für die rein statische Messung nichttrockener Farbfilme kann ein Meßrad verwendet werden, welches über dem Umfang eine eingefräste exzentrische Nute aufweist (Bild 3.1).

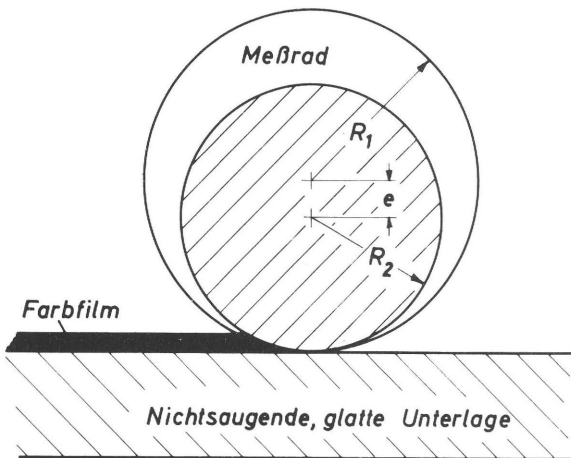
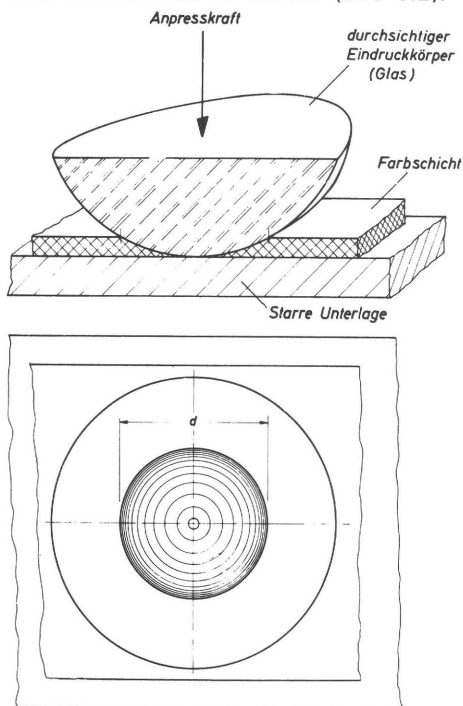


Bild 3.1:
Schichtdickenmeßrad

Dieses Meßrad stellt im Grunde jedoch nur ein abgewandeltes Grindometer dar und eignet sich bestenfalls für Eichzwecke. Während das Meßrad mit dem Radius R_1 auf einer glatten und starren Unterlage abrollt, wird der Grund der Nut, die durch den Radius R_2 sowie die Exzentrizität e gegeben ist, so lange benetzt, bis die Farbschichtdicke kleiner als die Nuttiefe ist. Durch Umrechnung des abgewickelten Bogens erhält man dann die Farbschichtdicke.

Ebenfalls als mechanisches Schichtdickenmeßverfahren ist die Eindruckmethode mit einer Konvexlinse zu werten (Bild 3.2).



Diese Methode gestattet die statische Schichtdickenmessung von nichttrockenen Farbschichten [13] und kann daher nur zu Eichzwecken herangezogen werden.

Der durchsichtige konvexe Glaskörper wird auf die plane Unterlage gepreßt. Aus dem benetzten Kreis kann dann auf die Farbschichtdicke geschlossen werden.

Als genauestes Eichverfahren bietet sich die gravimetrische Schichtdickenbestimmung zur Kalibrierung anderer Meßinstrumente an. Man kann diese Methode direkt anwenden, d.h. durch Wiegen vor dem Einfärben

Bild 3.2:
Schema der Schichtdickenmessung mittels Konvexlinse

und danach kann man das Gewicht der Farbe auf einem Probekörper (z.B. Walze) bestimmen und dann auf die Dicke umrechnen. Diese direkte Methode ist jedoch nur dann anwendbar, wenn das Nettogewicht des Probekörpers vergleichsweise niedrig ist.

Im Falle einer indirekten gravimetrischen Schichtdickenbestimmung wird eine definierte Oberfläche mit einer vorher bestimmten Menge beschichtet. Eine Umrechnung des Gewichtes ergibt dann die Schichtdicke. Voraussetzung für kleine Fehler ist ein Beschichtungsverfahren, das eine konstante Schichtdicke garantiert.

3.2.2 Optische Meßverfahren

Optische Schichtdickenmeßverfahren sind das Lichtschnittverfahren sowie das interferometrische Meßverfahren.

Die Schichtdickenbestimmung nach dem Lichtschnittverfahren erfordert die Herstellung einer Farbstufe auf einer nichtsaugenden Unterlage (Bild 3.3).

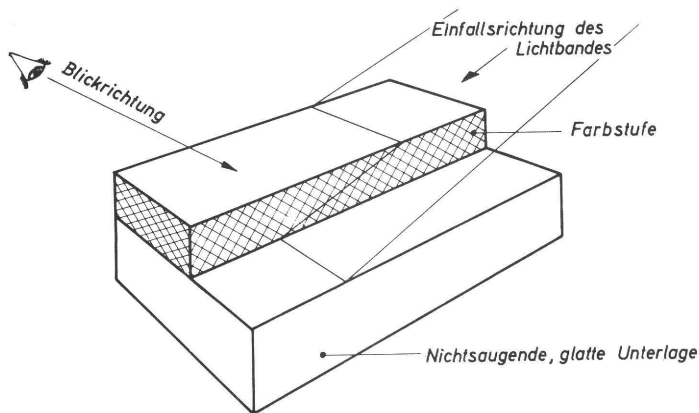


Bild 3.3: *Schema des Lichtschnittverfahrens*

Ein schräg einfallendes Lichtband fällt auf die Farbstufe und erzeugt einen Profillichtschnitt. Dieser wird dann mit Hilfe eines Mikroskops ausgewertet [14,15]. Dieses Meßverfahren erscheint deshalb äußerst problematisch, da die exakte Herstellung einer oder mehrerer Farbstufen äußerst schwierig ist.

Die interferenzmikroskopische Bestimmung der Schichtdicken ist ebenfalls ein optisches Meßverfahren.

Das Interferenzmikroskop stellt eine Verbindung von einem Auflichtmikroskop und einem Interferometer (nach Michelson) dar [16, 17]. Das interferometrische Meßver-

fahren gestattet die Schichtdickenbestimmung eingefärbter Rasterpunkte [18, 19]. Das Meßverfahren bedingt jedoch, daß das Meßobjekt stillsteht. Die Schichtdickenbestimmung an Volltonflächen dürfte äußerst problematisch sein, da man wieder eine Farbstufe oder Rille erzeugen muß. Ferner sei darauf hingewiesen, daß die Auswertung dergestalt gewonnener Interferenzbilder sehr zeitraubend ist.

3.2.3 Elektrische Meßverfahren

Das kapazitive Meßverfahren gestattet die Schichtdickenbestimmung von Stoffen, die eine Dielektrizitätskonstante besitzen, welche sich stark von der der Luft unterscheidet. Ein kapazitiver Meßwertgeber (Bild 3.4) zur Messung von Farbschichtdicken wird meist als Plattenkondensator ausgebildet. Die Stahlwalze kann als Kondensatorplatte nicht direkt benutzt werden, da sonst die Rundlauffehler in die Messung mit eingehen.

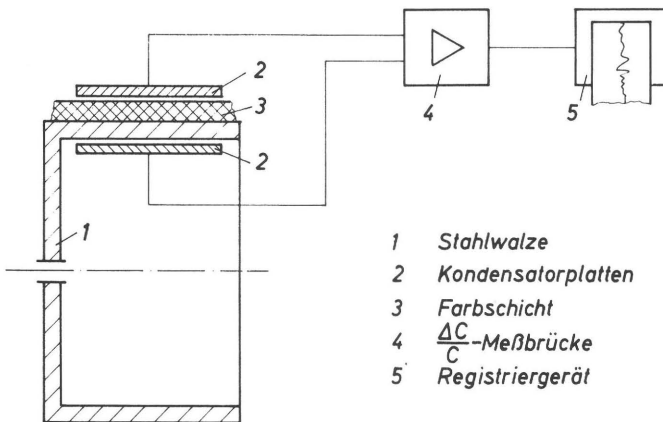


Bild 3.4: Kapazitive Schichtdickenmessung

Zwischen den Platten befinden sich die beiden Dielektrika Luft und Farbe. Ändert man nun die Farbschichtdicke d bei gleichbleibendem Plattenabstand D , so ergibt sich eine der Schichtdicke d zugeordnete Geberkapazität C_G , und somit ein entsprechendes elektrisches Signal am Ausgang der kapazitiven Meßbrücke. Dieser Umstand bedingt es, daß die Dielektrizitätskonstante der Farbe wesentlich höher sein muß als die der Luft, welche den Restspalt ausfüllt. Da jedoch handelsübliche Druckfarben eine Dielektrizitätskonstante von $\epsilon = 1,5$ bis 2 besitzen, wirken sich die geringsten Störeinflüsse (veränderliche Kabelkapazität usw.) sehr stark auf das Meßergebnis aus. Auch Versuche mit einem Differentialmeßwertgeber [20] erbrachten keine nennenswerten Verbesserungen, so daß dieses Schichtdickenmeßverfahren nicht zur dynamischen Messung von Farbschichtdicken angewandt werden konnte.

Hauptsächlich wird dieses Meßverfahren in abgewandelter Form zur Messung des Was-

sergehaltes von Papierbahnen oder auch zur quantitativen Analyse von Lösungsmittelgemischen benutzt [21] sowie auch zur Dickenmessung von Kopierschichten [22], da in diesen Fällen das Meßgut eine Dielektrizitätskonstante besitzt, die sich stark von derjenigen der Luft unterscheidet.

Neben dem kapazitiven Meßverfahren kann in einigen Sonderfällen auch das induktive Meßverfahren angewandt werden.

Verwendet man Druckfarben, welche mit Ferritkernen (Fe_2O_3 und Fe_3O_4) pigmentiert sind, so kann man mit induktiven Weggebern eine berührungslose Schichtdickenmessung dieser Spezialfarbe vornehmen. Dieses Meßverfahren ist jedoch äußerst störanfällig, so daß nur statische Messungen durchgeführt werden konnten. Die Eisenoxypigmentierung bewirkt eine starke Änderung der rheologischen Eigenschaften der Druckfarbe, so daß es nicht sinnvoll erscheint, Farbtransportuntersuchungen mit solchen Spezialfarben durchzuführen.

3.2.4 Radioaktive Meßverfahren

Versetzt man die zu verwendende Druckfarbe mit radioaktiven Nukleiden, so kann die entstehende Strahlung zur Schichtdickenbestimmung herangezogen werden [23]. Je nach Art zerfallen die beigemischten Isotope unter Aussendung von β^- und β^+ – sowie γ -Strahlung. Die entstehende Strahlung wird dann mit geeigneten Methoden (Geiger-Müller-Zählrohr, Szintillationszähler, Autoradiographie) ermittelt. Meist werden die Impulsraten eines Szintillationszählrohres pro Zeiteinheit ermittelt. Somit kann man mit dieser Meßmethode nur Mittelwerte eines Schichtdickenverlaufes während einer Zählperiode ermitteln. Dabei muß beachtet werden, daß die Aktivität des verwandten Isotopes gesetzmäßig abnimmt.

Die Wahl der Zerfallskonstanten stellt immer einen Kompromiß dar. Man wird meistens darauf achten, daß die Halbwertszeit in der Größenordnung von Stunden bleibt. Die recht umfangreichen Strahlungsschutzvorkehrungen sowie die umständlichen Auswertungen schränken dieses Verfahren als Labormeßverfahren ein.

Das Absorptionsmeßverfahren, ein weiteres Meßverfahren (Bild 3.5), bedingt den Einbau von radioaktiven Präparaten in die Metallwalzen eines Farbwerkes. Günstige Eigenschaften zur Schichtdickenbestimmung besitzen in diesem Fall Isotope, die vorwiegend β -Strahlen erzeugen [24]. Alpha-Strahlen scheiden für diesen Zweck aus, da sie schon von sehr dünnen Schichtdicken restlos absorbiert werden, hingegen besitzen γ -Strahlen eine zu hohe Durchdringungsfähigkeit. Man muß ferner darauf achten, daß die verwandten Präparate eine möglichst hohe Zerfallskonstante besitzen. Die Gültigkeit des Lambert-Beer'schen Gesetzes für dieses Meßverfahren ist von großem Vorteil.

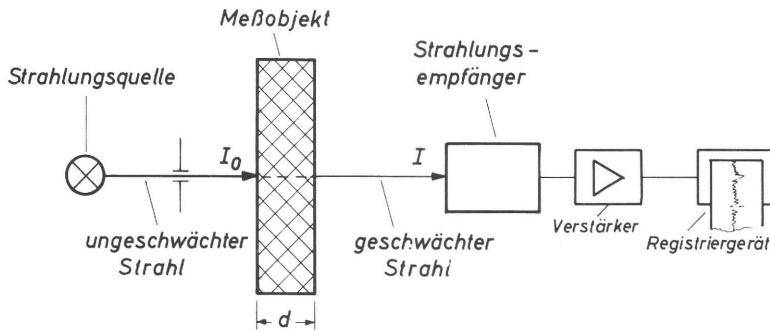


Bild 3.5: Schema für das Absorptionsmeßverfahren

Dieses Meßverfahren macht einen umfangreichen Strahlungsschutz erforderlich, da derart präparierte Walzen doch recht sperrige Strahlungsquellen darstellen. Es ist somit nur für Laborzwecke einsetzbar.

Ein weiteres Meßverfahren, das Beta-Rückstreuverfahren, besitzt gegenüber dem vorhin erläuterten Meßverfahren den Vorteil, daß die radioaktiven Präparate bei Nichtbenutzung aus dem Meßwertgeber leicht entfernt und somit strahlensicher aufbewahrt werden können. Die Arbeitsweise eines solchen Meßwertgebers kann wie folgt beschrieben werden [25].

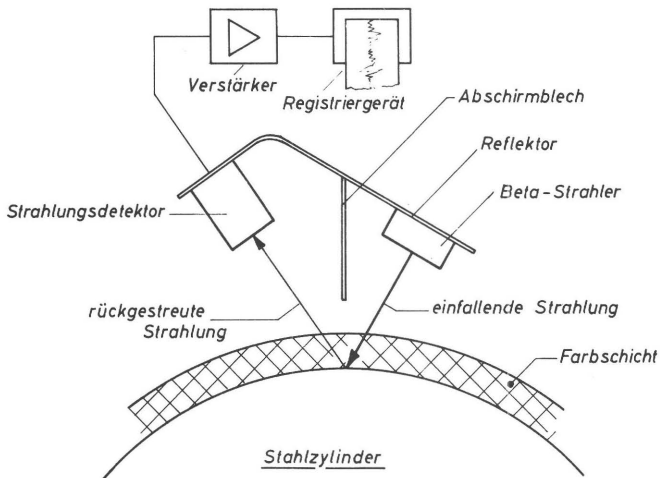


Bild 3.6: Schema für das Beta-Rückstreuverfahren

Der Betastrahler (Bild 3.6) emittiert die auf die Farbe auftreffende Strahlung. In der Farbschicht erfährt die Strahlung eine Intensitätsschwächung und wird zum Detektor zurückgestreut. Eine einfache Beziehung für die Strahlungsschwächung ist für diese Verhältnisse nicht gegeben. Die Eichung muß also empirisch vorgenommen werden.

Zur Ermittlung von echten Schichtdickenverläufen eignet sich dieses Meßverfahren nicht, da nur Mittelwerte innerhalb einer Meßzeit gebildet werden. Die meisten Geräte besitzen jedoch außerdem so hohe Meßzeiten (einige Sekunden), so daß sehr rasch verlaufende Schichtdickenschwankungen (einige Hundert Hertz) nicht mehr aufgelöst werden können. Dies war der Hauptgrund, warum dieses elegante und relativ leicht beherrschbare Meßverfahren für die sich stellende Meßaufgabe ungeeignet erschien.

3.2.5 Photoelektrisches Meßverfahren

Das photoelektrische Meßverfahren im Durchlicht ist prinzipiell eine Absorptionsmeßmethode. Eine Lichtquelle emittiert polychromatisches oder monochromatisches Licht. Es durchdringt die zu messende Farbschicht, wird dabei geschwächt und von einem photoelektrischen Wandler in eine elektrische Größe umgesetzt. Wendet man dieses Meßverfahren bei Farbflußmessungen an, so ergibt sich die Notwendigkeit, Meßwalzen aus Glas an Stelle der Stahlwalzen und der Druckformen zu verwenden oder lichtdurchlässige Walzenbezüge auf einem hohlen Glaskern [26] zu benutzen. In beiden Fällen ergibt sich der gleiche prinzipielle Aufbau der Meßwalzen (Bild 3.7).

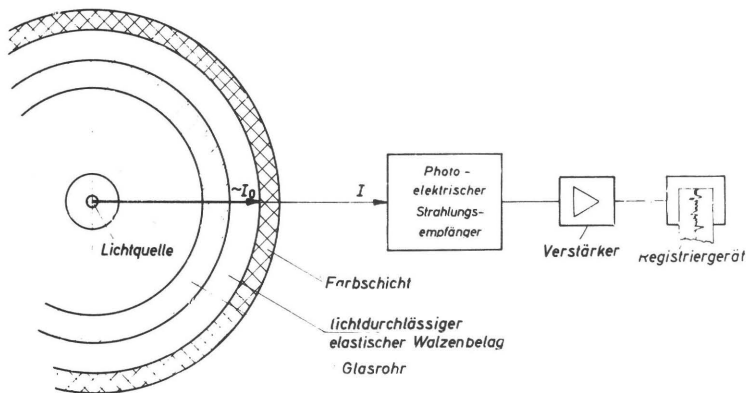


Bild 3.7: Schema des Schichtdickenmeßverfahrens im Durchlicht

Eine in Walzenmitte befindliche Lichtquelle emittiert entweder monochromatisches oder polychromatisches Licht, welches das Glasrohr und den lichtdurchlässigen Walzenbelag weitgehendst ungeschwächt passiert. Es durchdringt dann die Farbschicht, erfährt in ihr eine Intensitätsschwächung und wird von einem photoelektrischen Empfänger in eine elektrische Größe umgeformt, danach verstärkt und von einem Anzeigergerät dargestellt. Der Einfachheit halber verwendet man meistens polychromatische Strahlungsquellen. Da jedoch das Lambert-Beer'sche Gesetz nur für solche photometrischen Messungen gültig ist, bei denen monochromatisches Licht zur Anwendung kommt, muß man im eben erläuterten Fall mit starken Abweichungen von dem gesetzmäßigen Zusammenhang rechnen. Außerdem ist dieses Gesetz im strengen Sinne nur

für stark verdünnte Lösungen gültig [27]. Da diese beiden Grundbedingungen bei der obigen Versuchsanordnung nicht vorliegen, ist eine Eichung unumgänglich.

Dieses Meßverfahren besitzt den Vorteil einer trägheitsarmen Messung. Es gestattet jedoch nur die Messung der Farbschichtdicken auf Spezialwalzen. Es wird in abgewandelter Form zu Betriebsmessungen zum Zwecke der Farbflußregelung herangezogen [28, 29].

Zur Messung der Farbschichtdicke auf Stahlwalzen mit stark reflektierenden Oberflächen muß das photoelektrische Meßverfahren im Auflicht verwandt werden (Bild 3.8).

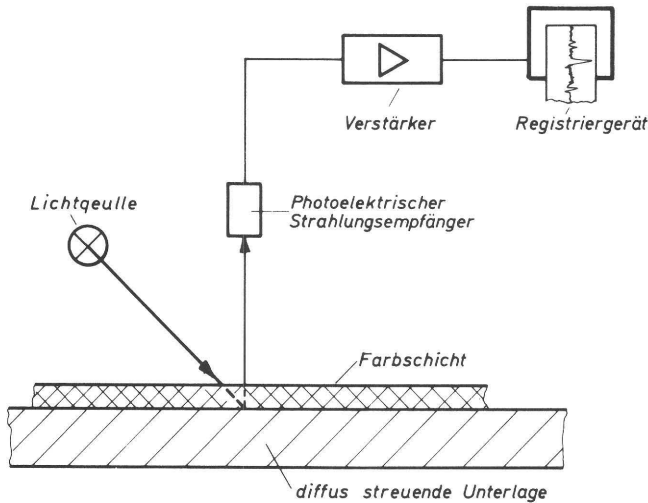


Bild 3.8: Schichtdickenmeßverfahren im Auflicht $45^{\circ}/0^{\circ}$ Geometrie

Eine Lichtquelle emittiert entweder polychromatisches oder monochromatisches Licht, welches in der Farbschicht eine Intensitätsschwächung erleidet und von der Unterlage diffus zum photoelektrischen Empfänger zurückgestrahlt wird. Dieser wandelt die einfallende Strahlung in eine elektrische Größe um. Das elektrische Signal wird einem Verstärker zugeführt, bevor es von einem Registriergerät aufgezeichnet wird. Die Beschränkung des Auflichtverfahrens auf Walzen mit stark reflektierenden Oberflächen bedeutet wegen der Gültigkeit des Kontinuitätssatzes und der annähernd hälftigen Spaltung des Farbfilmes zwischen Stahl- und Gummiwalzen keinen Nachteil. Da Gummiwalzen fast ausnahmslos im Dreieckverband mit zwei Stahlwalzen arbeiten, ist die Bestimmung der Schichtdicke auf den Gummiwalzen rein rechnerisch mit hoher Genauigkeit möglich. In Kap. 6.2.1 wird noch einmal auf die Farbfilmspaltung zwischen Stahl- und Gummiwalzen eingegangen.

Voruntersuchungen ergaben, daß der Einfluß des Umgebungslichtes als vernachlässigbar anzusehen ist.

3.2.5.1 Bewertung der Meßverfahren

Die meßtechnische Aufgabestellung wurde eingangs im Kapitel 3.1 erläutert. Aus dieser Aufgabenstellung resultierten dann die Forderungen a bis i, die dann von dem angewandten Meßverfahren möglichst alle erfüllt werden sollen.

Zur Abklärung des zu wählenden Schichtdickenmeßverfahrens soll eine tabellarische Übersichtswertung vorgenommen werden (Tabelle 3.1). Erfüllt das zu bewertende Meßverfahren eine Anforderung, so erhält es die Bewertung +, bei Nichterfüllung die Bewertung – und bei bedingter Erfüllung die Bewertung b.

Übersichtswertung der einzelnen Schichtdickenmeßverfahren									
Schichtdickenmeßverfahren	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Mechanisches Meßverfahren (Meßrad)	–	–	–		+	–	b	–	–
Gravimetr. Schichtdickenbestimmung	b	–	–	+	+	b	+	+	b
Eindruckmeßmeth. mit einer Konvexlinse	–	–	–	+	–	–	b	b	b
Lichtschnittverfahren	+	–	–	+	+	–	+	–	b
Interferometr. Schichtdickenbestimmung	–	–	–	+	+	–	+	+	b
Kapazitives Meßverfahren	+	b	b	b	–	b	–	–	b
Induktives Meßverfahren (nur für magnetisierbare Farben)	+	+	b	–	+	b	–	–	b
Schichtdickenbestimmung unter Verwendung von aktivierten Farben	+	–	–	b	+	b	b	–	b
Absorptionsmeßverfahren	+	–	–	b	–	b	+	+	–
Rückstreuverfahren	+	–	–	+	–	+	+	+	+
Photoelektr. Verfahren im Durchlicht	+	+	–	b	b	b	b	+	–
Photoelektr. Verfahren im Auflicht	+	+	+	b	b	+	+	+	+

Tabelle 3.1

Die in Tabelle 3.1 dargestellte Übersichtsbewertung läßt erkennen, daß das photoelektrische Schichtdickenmeßverfahren im Auflicht die beste Eignung für die vorliegende Meßaufgabe besitzt.

3.3 Das Auflichtverfahren

3.3.1 Wahl der Meßstrahlgeometrie

Bei Verwendung der $45^{\circ}/0^{\circ}$ -Geometrie (Bild 3.8) ergibt sich der Vorteil, daß derjenige Strahlungsanteil, welcher vom Glanz der Schichtdickenoberfläche herrührt, klein gehalten werden kann. Kubelka und Munk [30] haben eine mathematische Beziehung zwischen dem Remissionwert und der Farbschichtdicke entwickelt. Diese Beziehung gilt jedoch nur streng für unbunte Farbschichten sowie für diffuse Streuung. Mit eini-

gen Korrekturen läßt sie sich angenähert auf die $45^{\circ}/0^{\circ}$ -Geometrie übertragen [14].

Schichtdickenmessungen auf stark reflektierenden Walzenoberflächen zeigten, daß bei dieser Geometrie bei dicker werdenden Farbschichten die Meßsignale nach einem anfänglichen Anstieg wieder abfallen. In diesem Bereich ist keine eindeutige Zuordnung des Meßsignales zur Schichtdicke möglich. Benutzt man dagegen die $45^{\circ}/45^{\circ}$ -Geometrie (Bild 3.9), so entfällt diese Schwierigkeit. Zudem ist bei gleicher Schichtdicke der Signalpegel erheblich höher, was der Meßgenauigkeit zugute kommt [31].

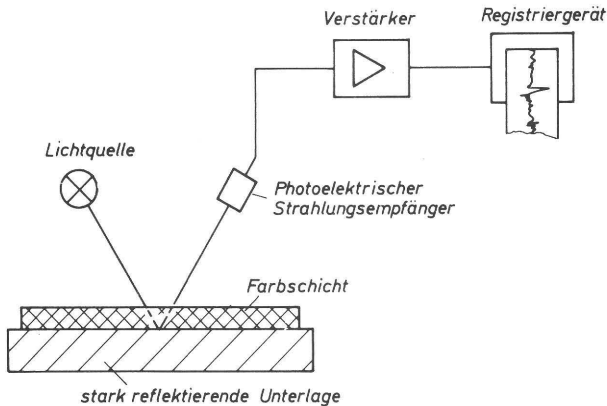


Bild 3.9: Schichtdickenmeßverfahren im Auflicht

Bei dieser Geometrie wird im Prinzip der Glanz der Farbschichtoberfläche mitgemessen. Da als Folge der Farbspaltung im laufenden Farbwerk eine Aufrauhung der Oberfläche eintritt [32], ist der Glanz erheblich gemindert, so daß er den Schichtdickeneinfluß auf das Meßsignal nicht überspielt. Da die Eichung und die Messung im Farbwerk bei gleicher Laufgeschwindigkeit, annähernd gleichen Temperaturen und gleicher Druckfarbe vorgenommen werden, wirkt sich der Glanzanteil nicht aus.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde die $45^{\circ}/45^{\circ}$ - Geometrie angewandt.

3.3.1.1 Einfluß der Größe der Meßfläche

Soll das Farbschichtdickenrelief auf einer Walze gemessen werden, so ist zunächst zu klären, welche Details des Reliefs für die geplanten Untersuchungen relevant sind. Als nicht interessante Informationen zur Beschreibung des Farbflußvorganges muß in diesem Zusammenhang die durch die Farbspaltung hervorgerufene Oberflächenrauigkeit der Farbschicht aufgefaßt werden. Es ist darum notwendig, die Fläche des zu photometrierenden Meßfleckes so groß zu halten, daß diese Oberflächenrauigkeit ausgemittelt wird. Andererseits muß die Meßfleckgröße hinreichend klein sein, damit das interessierende Schichtdickenrelief in Umfangsrichtung der Walzen mit seinen Abstu-

fungen und Schwankungen gut wiedergegeben werden kann.

Zur Abschätzung dieser Verhältnisse [33] sei ein rechteckförmiges Farbschichtrelief angenommen (Bild 3.10), dessen Höhe den Wert $Z(x) = B$ besitzt.

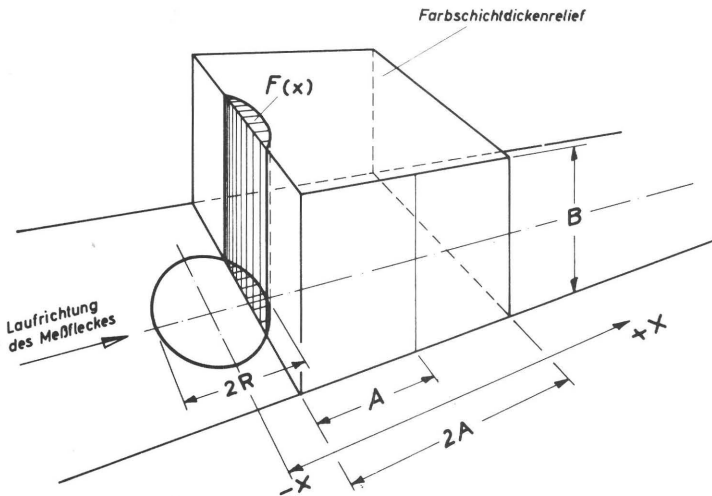


Bild 3.10: Modellvorstellung der photometrischen Messung eines rechteckigen Schichtdickenreliefs

Die Länge des Rechteckes soll den Wert $2A$ aufweisen. Wird nun dieses Rechteck von dem Meßfleck (beleuchtete Fläche) mit dem Radius R überstrichen, so liefert der lichtelektrische Empfänger (z.B. Phototransistor) ein Meßsignal, das abhängig von der Schichtdicke B sowie der Teilfläche $F(x)$ ist. Für unsere weiteren Überlegungen setzen wir für den Fall, daß $F(x) = R^2 \cdot \pi$ ist, der Meßfleck also ganz auf der Schicht konstanter Dicke liegt, voraus, daß das elektrische Signal $C(x)$ des lichtelektrischen Empfängers direkt proportional der Schichtdicke B ist. Wie man diese Bedingungen erfüllt, wird in Kapitel 3.3.5 erläutert.

Befindet sich der Meßfleck vor oder nach dem Relief (also wenn $|x| > A + R$ ist), so erhalten wir kein elektrisches Signal.

Läuft der Meßfleck über die Schichtkante, so ergibt sich das elektrische Signal $C(x)$ aus der Multiplikation der Schichtdickenhöhe $Z(x)$ mit der Teilfläche $F(x)$. Es gilt somit:

$$C(x) = \frac{\text{konst} \cdot F(x)}{R^2 \cdot \pi} \cdot Z(x) \quad (3.1)$$

Hält man die Breite $2A$ des vorgegebenen Schichtdickenverlaufes konstant und ändert man den Durchmesser $2R$ des Meßflecks, so ist zu beobachten, daß mit Abnahme des

Meßfleckdurchmessers das elektrische Signal $C(x)$ mit dem vorgegebenen Schichtdickenverlauf $Z(x)$ immer besser korrespondiert (Bild 3.11).

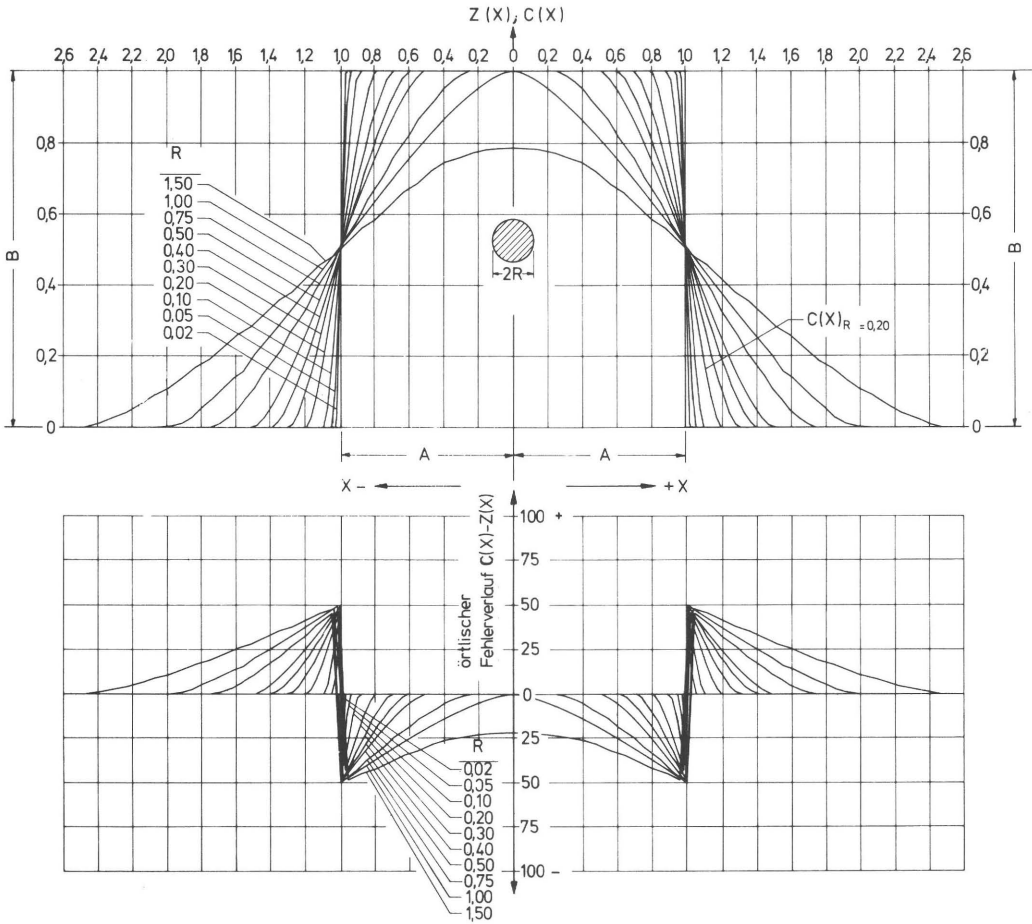


Bild 3.11: Meßwertverfälschung durch einen endlich großen Meßfleck

Unter den in Bild 3.10 festgelegten Bedingungen beträgt der beim Überfahren der Schichtkante auftretende Anzeigefehler $ca = C(x) - B$. Wenn $F(x) = \frac{1}{2} R^2 \cdot \pi$ ist, die Meßfleckmitte also genau auf der Schichtkante liegt, erreicht er seinen Maximalwert $ca_{max} = \pm B/2$. Läuft der Meßfleck von einer Schicht der Dicke B_1 auf die Schicht der Dicke B_2 , so wird $ca_{max} = \pm \frac{B_2 \cdot B_1}{2} = \pm \frac{\Delta B}{2}$. Der maximale Anzeigefehler wird also umso kleiner, je geringer die Schichtdickendifferenz ΔB ist. Er ist in jedem Falle jedoch unabhängig vom Meßfleckdurchmesser $2R$.

Im Grunde stellt sich also nur die Frage nach der Auflösung in der X-Richtung, für die das Verhältnis $f(x) = \frac{2A - 2R}{2A} = 1 - \frac{R}{A}$ das Maß gibt.

Es wäre demnach ein möglichst kleiner Meßfleckdurchmesser erwünscht. Da die Platzverhältnisse zwischen den Walzen eines Farbwerkes sehr beschränkt sind, mußte auf alle nicht in die Lichtquelle integrierten optischen Hilfsmittel verzichtet werden. Dadurch ergab sich ein Meßfleckdurchmesser von $2 R = 4 \text{ mm}$. Dieser Wert wurde ebenfalls bei der in Kap. 3.4 beschriebenen Apparatur eingehalten.

Es stellt sich nun die Frage, ob damit die auf Grund von Rückwirkungen durch „kritische Druckformen“ entstandenen Schichtdickenänderungen genügend genau aufgelöst werden können. Bei der gegebenen Geometrie der für die Messung zur Verfügung stehenden Modellmaschine (Kap. 4) ist mit Rechtecklängen von $2 A \cong 70 \text{ mm}$ zu rechnen. Die Auflösung ergab sich damit zu 0,943, was als genügend betrachtet wurde.

Das Schema eines solchen praxisnahen Schichtdickenverlaufes zeigt das Bild 3.12.

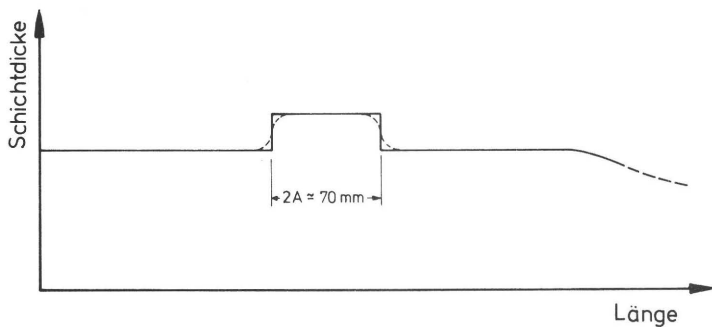


Bild 3.12: Schema eines praxisnahen Schichtdickenverlaufes

3.3.2 Auswahl des photoelektronischen Elementes und der Miniaturglühlampe

Die wichtigsten Bauelemente eines photoelektronischen Meßwertgebers sind eine Lichtquelle und ein photoelektrisches Bauelement, welches das einfallende Licht in eine elektrische Größe umformt.

Um die vorliegende Meßaufgabe optimal zu erfüllen, soll das photoelektronische Bauelement die folgenden Anforderungen möglichst alle erfüllen:

- a) kleine Baugröße
- b) ausreichend hohe Grenzfrequenz
- c) schwache Temperaturabhängigkeit
- d) gute Empfindlichkeitsverteilung im sichtbaren Bereich des Lichtes
- e) einfache Spannungsversorgung auch bei einer Vielstellenmeßanlage
- f) Unabhängigkeit der Ansprechzeiten von der Beleuchtungsstärke
- g) hohe Empfindlichkeit
- h) geringe Alterungsneigung.

Um herauszufinden, welches photoelektronische Bauelement die eingangs aufgestellten Forderungen am besten zu erfüllen vermag, wurden die wichtigsten Bauelementarten einer Eignungsprüfung unterzogen.

Das schnellste und empfindlichste Bauelement, der Photomultiplier, benötigt eine hochkonstante Gleichspannungsversorgung ($\sim 2 \text{ kV}$). Außerdem sind die baulichen Abmessungen meistens sehr groß, so daß dieses Bauelement für die vorliegende Meßaufgabe ausscheidet.

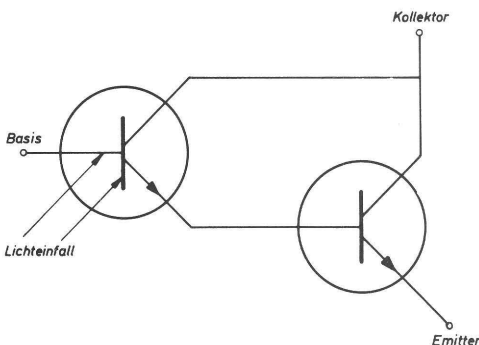
Photowiderstände (Photoleitungseffekt) besitzen eine sehr starke Abhängigkeit der Ansprechzeit von der Beleuchtungsstärke und neigen zum Altern [34].

Photoelemente (Sperschichteffekt) ermöglichen die direkte Umformung von Strahlungsenergie in elektrische Energie. Bei Verwendung von leistungsarmen Miniaturlampen als Strahlungsquelle ist eine anschließende Verstärkung des elektrischen Signals unumgänglich. Die Verwendung dieses Bauelementes für eine Vielstellenmeßanlage würde eine entsprechende Anzahl von Verstärkern erfordern.

Vakuumphotozellen (Photoemission) besitzen wie der Photomultiplier eine sehr hohe Grenzfrequenz, benötigen aber noch eine Verstärkung. Gasgefüllte Photozellen sind wesentlich träger als die evakuierten Photozellen, bedürfen im allgemeinen jedoch keiner so hohen anschließenden Verstärkung.

Photodioden, die noch eine ausreichend hohe Grenzfrequenz ($\sim 50 \text{ kHz}$) aufweisen, besitzen jedoch nicht die gewünschte hohe Empfindlichkeit, so daß wiederum eine nachfolgende Verstärkung des Signals erforderlich wäre.

Der Phototransistor ist eine logische Weiterentwicklung der Photodiode und ist so ausgelegt, daß er nicht nur als Gleichrichter, sondern zugleich auch als Verstärker arbeiten kann. Obwohl der Phototransistor (ebenfalls wie die Photodiode) meistens eine sehr starke Temperaturabhängigkeit besitzt, erfüllt er die anderen Anforderungen in idealer Weise. Da durch geeignete Maßnahmen (Kap. 3.3.3.2) auch die Forderung der Temperaturunabhängigkeit erfüllt werden kann, wurde ein Phototransistor (RM 3002, Raytheon) in integrierter Bauweise (TO-18-Gehäuse) für diese Meßaufgabe als optimales Bauelement verwandt.



Im Grunde besteht dieses integrierte Bauelement aus zwei npn-Silizium-Transistoren, wobei der zweite Transistor als nachgeschalteter Verstärker wirkt (Bild 3.13).

Bild 3.13:
Ersatzschaltung des verwandten Phototransistors RM 3002

Durch diese Schaltung kann ein Stromverstärkungsfaktor von ca. 10^4 bei 5 Volt Kollektorspannung erzielt werden [35]. Die maximale Verstärkung läßt sich jedoch nur bei offener Basis erzielen. In diesem Fall fließt der gesamte erzeugte Basisstrom über den Emitter und demzufolge wird auch der thermisch erzeugte Kollektorstrom mit dem gleichen Verstärkungsfaktor wie der Photostrom verstärkt. Dieser Umstand bedingt die sehr starke Temperaturabhängigkeit dieses Bauelementes.

Die Grenzfrequenz liegt außerordentlich hoch. Es wurden Anstiegszeiten gemessen, welche kleiner als $1 \mu\text{sec}$ waren [35]. Dieser Phototransistor besitzt eine günstige spektrale Empfindlichkeitsverteilung (Bild 3.14).

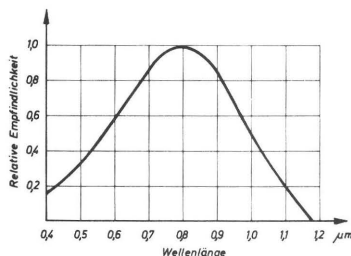


Bild 3.14: *Spektrale Empfindlichkeitsverteilung des Phototransistors RM 3002*

Das Maximum der relativen Empfindlichkeit liegt im roten und nahen infraroten Bereich des Lichtes.

Zum Bau des photoelektronischen Meßwertgebers benötigt man neben dem photoelektronischen Bauelement noch eine Lichtquelle. Diese Lichtquelle soll Gleichlicht mit einer hochkonstanten Intensität abstrahlen.

Es wurde eine Miniaturglühlampe (4,5 mm Ø, 10 mm Länge) verwandt, deren Glaskolben eine eingegossene Linse aufweist (Fa. Albrecht).

Die Lebensdauer wurde für die Nennspannung von 2,5 Volt mit 15 h angegeben. Die außerordentlich große Empfindlichkeit der Phototransistoren ermöglicht einen Betrieb der Miniaturlampe weit unter Nennspannung, nämlich mit 1,2 V, so daß die Lebensdauer erheblich ansteigt [36, 37]. Durch kurzzeitigen Betrieb bei Nennspannung wurden die Glühlampen gealtert.

3.3.3 Maßnahmen zur Erzielung einer hohen Langzeitkonstanz

3.3.3.1 Spannungsversorgung der Phototransistoren und der Miniaturglühlampen

Da die photoelektronischen Meßwertgeber nach der Ausschlagsmethode arbeiten, ist eine hochgenaue Spannungsversorgung der Phototransistoren unerlässlich. Die Speise-

spannung (11,100 V) liefert ein hochgenaues Gleichspannungsspeisegerät (Gossen). Mit einem hochauflösenden Digitalvoltmeter (Dynamco, 5 Stellen) wird die Transistorspannung mit einer Fehlerbreite von $\pm 2 \text{ mV}$ kontrolliert.

Weitaus kritischer ist die Spannungsversorgung der Miniaturglühlampen der Meßwertgeber, denn der Lichtstrom steigt ungefähr mit der 3.5.ten Potenz der Lampenspannung an. Bedingt durch die Meßaufgabe war es erforderlich, mehrere hochgenaue, voneinander galvanisch getrennte Spannungsquellen zur Verfügung zu haben. Da ein solches Mehrkanalspeisegerät nicht auf dem Markt käuflich erworben werden konnte, wurde es in Eigenbau erstellt (Bild 3.15).

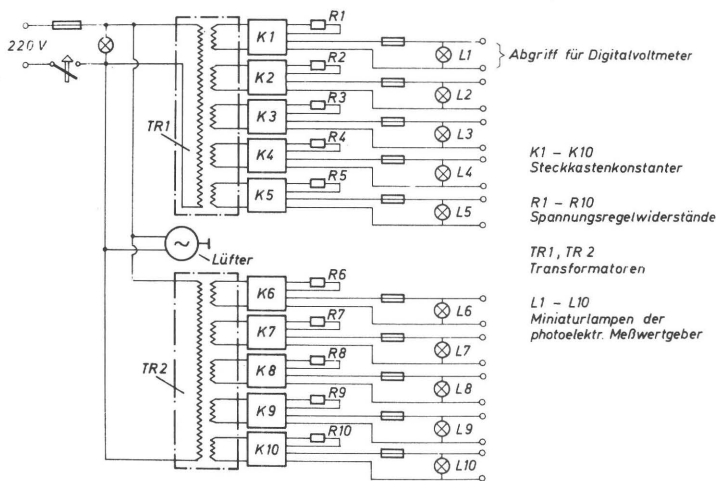


Bild 3.15: Schema des Mehrkanalspeisegerätes

Dieses Gerät enthält zwei Spezialtransformatoren, die sekundärseitig je 5 Ausgänge besitzen. Die galvanisch getrennten Sekundärwicklungen liefern für die käuflich erworbenen Steckkonstanter (Gossen) die Speisespannungen. Die Ausgangsspannung des Steckkonstanters K1 wird durch den Regelwiderstand R1 verändert. Zwischen der Ausgangsspannung der Steckkonstanter sowie dem Regelwiderstand besteht ein linearer Zusammenhang. Die maximale Ausgangsspannung des Konstanters beträgt 6 V. Da die benötigten Lampenspeisespannungen zwischen 0,8 und 2,0 V liegen, wird der Regelwiderstand durch ein entsprechendes Netzwerk ersetzt. Mit Hilfe des eingangs erwähnten Digitalvoltmeters werden die Lampenspeisespannungen laufend überwacht. Der Abgriff der Spannungen zum Zwecke der Überwachung sollte in diesem Falle so dicht wie möglich am Verbraucher liegen, da über den Zuleitungen ein nicht zu vernachlässigender Spannungsabfall auftritt, weil der Lampenwiderstand nur ca. 10 Ohm beträgt. Um Widerstandsänderungen, die zu sehr großen Meßfehlern führen, zu vermeiden, wurden diese Verbindungen verlötet.

3.3.3.2 Ausschaltung der Temperaturdrift der Phototransistoren

Wie in Abschnitt 3.3.2 erläutert, besitzt der Phototransistor eine außerordentlich starke Temperaturabhängigkeit. Die Ausschaltung des Temperaturganges kann man entweder durch eine geeignete Kompensationsschaltung oder durch Thermostatisierung der Phototransistoren erreichen. Schaltet man zwischen Emitter und Basis ein geeignetes NTC-Element, ist eine Kompensation des Temperaturganges nur dann möglich, wenn Kleinsignalaussteuerung vorliegt. Bei einer Großsignalaussteuerung (der Bereich des Meßsignals geht von 0 bis zur Maximalspannung), ist bei ansteigender Temperatur nicht nur eine Vergrößerung der Spannung zu beobachten, sondern auch ein Ansteigen der Dunkelspannung. Für diese Temperaturcharakteristik läßt sich mit einem NTC-Element bzw. einer Reihe solcher Elemente keine genügende Kompensation erreichen.

Die Temperaturabhängigkeit eines Phototransistors läßt sich am besten im Wärmeschränk untersuchen. Eine Lichtquelle mit veränderbarer Speisespannung beleuchtet den Phototransistor. Mit einem x-y-Schreiber wird die Lampenspannung über der Transistorspannung aufgezeichnet. Man kann durch diesen Versuch nachweisen, daß die Erhöhung der Temperatur bei konstanter Lampenspannung eine Erhöhung der Transistorspannung mit sich zieht (Bild 3.16). Die Dunkelspannung steigt bis rund 3,5 V bei 70° C an.

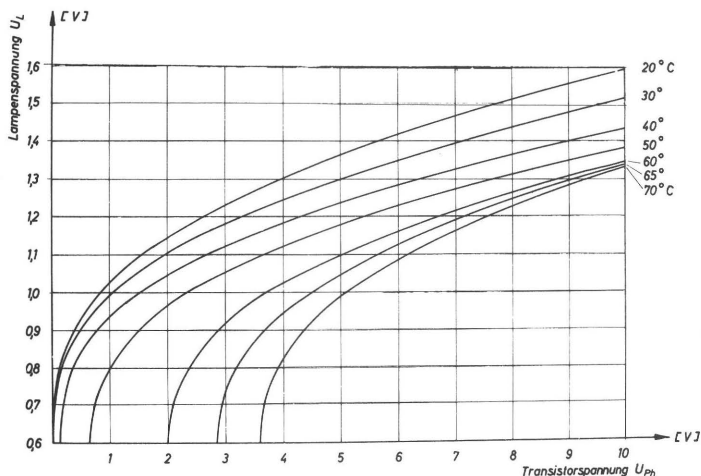


Bild 3.16: Temperaturabhängigkeit des Phototransistors RM 3002 bei offener Basis

Eine sehr einfache Möglichkeit, den Temperaturgang der Phototransistoren zu unterdrücken, bietet die Thermostatisierung der Phototransistoren.

Da es praktisch kaum durchführbar wäre, jedem einzelnen Phototransistor aller photoelektronischen Meßwertgeber (25 Stück) einen eigenen Thermostaten zuzuordnen, ist es zweckmäßig, alle Phototransistoren in einer gemeinsamen Thermostatisierkammer unterzubringen. In diesem Fall ist es notwendig, das von der Farbschicht geschwächte und von der Stahlwalze zurückgeworfene Licht durch ein geeignetes Lichtleitersystem

(Faseroptik) dem jeweiligen Phototransistor zuzuführen, der sich in der gemeinsamen Thermostatisierkammer befindet (Bild 3.17).

Diese Lichtleiter besitzen die Eigenschaft, IR-Strahlung oberhalb $1,2\mu\text{m}$ fast vollständig zu absorbieren [38,39], so daß keine unerwünschte Erwärmung der Transistoren durch den IR-Anteil der von der Walzenoberfläche ausgehenden Strahlung entsteht.

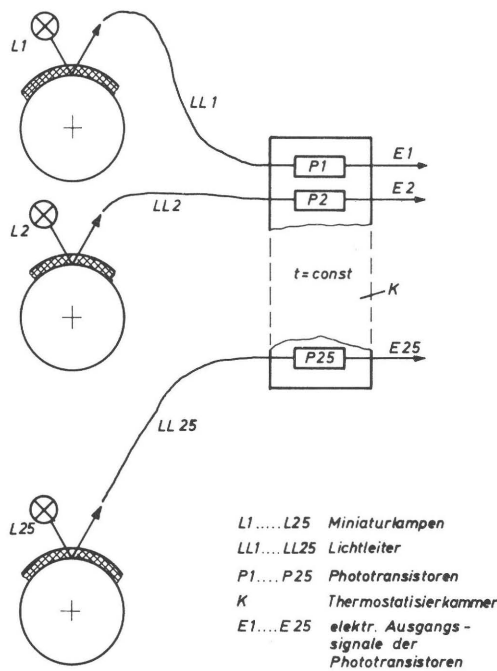


Bild 3.17: Schema der photoelektronischen Meßwertgeber

Die gesamte spektrale relative Empfindlichkeitskurve des Systems Lichtleiter und Phototransistor ergibt sich durch Multiplikation der relativen Empfindlichkeitskurve des Phototransistors $EPH(\lambda)$ mit der Transmissionskurve $EL(\lambda)$ des Lichtleiters (Bild 3.18).

$$ELPH(\lambda) = EPH(\lambda) \cdot EL(\lambda) \tag{3.2}$$

Die durchschnittliche Lichtleiterlänge aller Meßwertgeber beträgt ca. 60 cm.

Da alle Bestandteile des Lichtleiters einschließlich der Fasern aus Plastikmaterialien bestanden, konnten die Lichtleiterenden mit einem Mikrotom exakt geschnitten werden, so daß die sonst üblichen Schleifarbeiten entfielen. Die Fittings an den Lichtleiterenden wurden so ausgebildet, daß sie den Lichtleiter zusammenpressen und so ein gegenseitiges Verschieben der einzelnen Lichtleiterfasern verhindern (Bild 3.19).

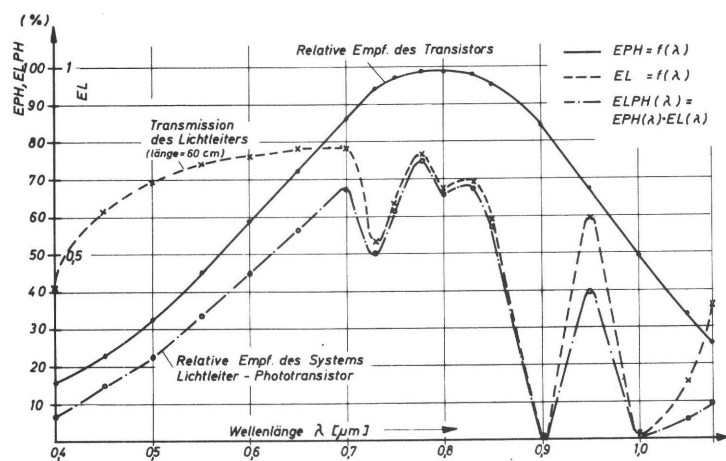


Bild 3.18: Relative Empfindlichkeitsverteilungskurven

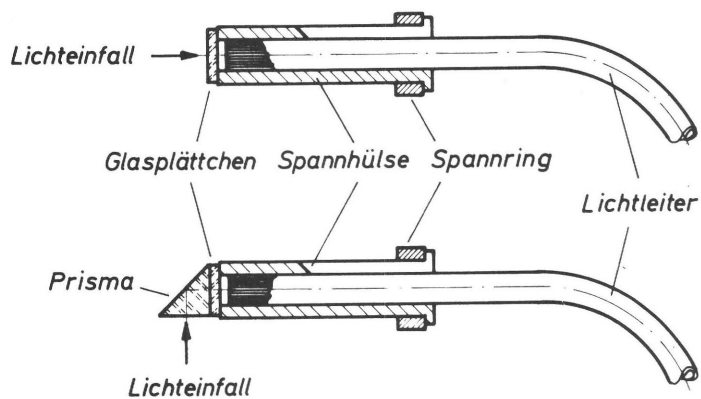


Bild 3.19: Fittingstücke der Lichtleiter

3.3.4 Das Meßsystem

Da zwischen den Walzen eines Farbwerkes meistens nur sehr geringe Zwischenräume vorhanden sind, in welche die photoelektrischen Meßwertgeber eingebracht werden müssen, war eine weitgehende Miniaturisierung derselben erforderlich.

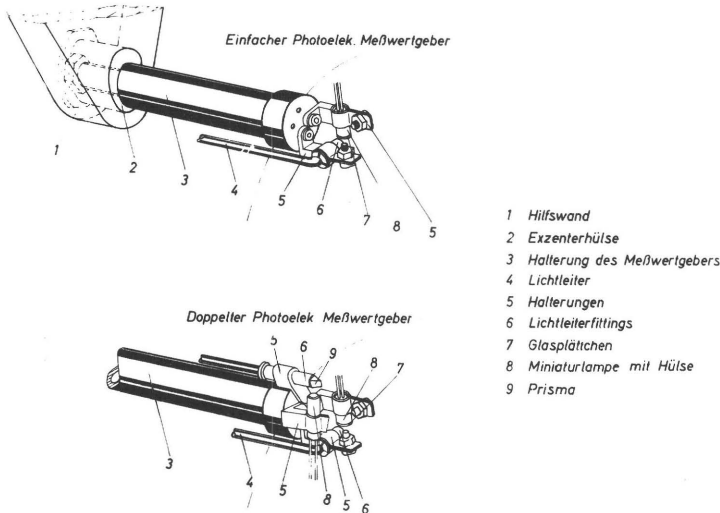


Bild 3.20: Verschiedene Ausführungen des photoelektrischen Meßwertgebers

Ein Messingstab (15 mm \varnothing) trägt an seinem vorderen Ende eine Messingscheibe (20 mm \varnothing), auf welcher sich die Beleuchtungseinrichtung sowie der Lichtleiterfittings befinden (Bild 3.20). Die Transistoren selbst befinden sich jeweils in Messinghülsen, in welche die entsprechenden Lichtleiterenden hineinragen. Da der Kollektor mit dem Transistorgehäuse elektrisch verbunden ist, war es erforderlich, sämtliche Messinghülsen elektrisch isoliert anzuordnen. Aus diesem Grund wurden die Wände der Thermostatisierungskammer aus Plexiglas angefertigt. Alle Plexiglas-Verbindungen wurden geklebt. Als Thermostatflüssigkeit wurde Spindelöl verwendet, da es gute elektrische Isolations-eigenschaften besitzt. Die Viskosität des Öles wurde möglichst niedrig gewählt, damit ein guter Wärmetransport gegeben war. Die Arbeitstemperatur betrug 25,6° C.

Da es unbedingt erforderlich ist, die Stellung des Meßwertgebers von Versuch zu Versuch unverändert beizubehalten, schien es ratsam, alle Meßwertgeber in einer gemeinsamen Hilfswand fest zu verankern. Diese Hilfswand gleitet auf Präzisionsführungen (Fa. Sustan) und kann weggeschwenkt werden, so daß das Farbwerk nach einem Versuch gereinigt werden kann. An dieser Hilfswand ist auch die Thermostatisierungskammer angebracht (Bild 3.21).

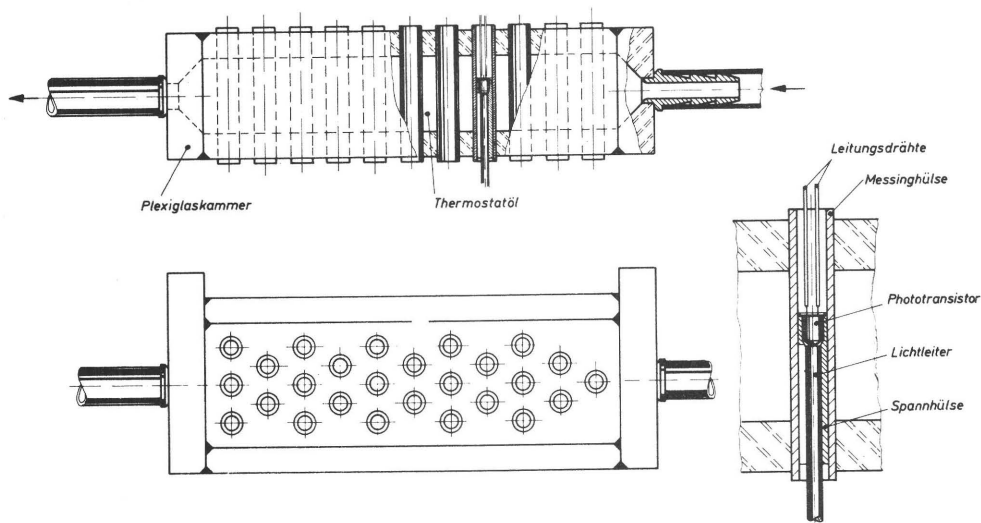


Bild 3.21: Thermostatisierkammer

3.3.5 Die Verarbeitung des elektrischen Signales

Das photoelektrische Meßverfahren im Auflicht besitzt den Nachteil, daß zwischen dem elektrischen Signal des Phototransistors und der Farbschichtdicke kein linearer Zusammenhang besteht. Ein photoelektronischer Meßwertgeber liefert bei der Schichtdicke 0 das größte elektrische Signal, das dann mit wachsender Schichtdicke abfällt (Bild 3.22).

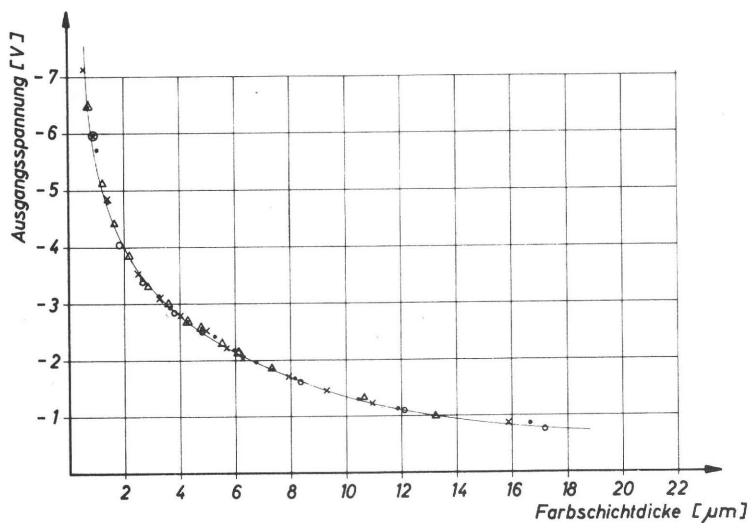
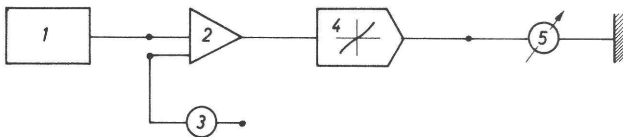


Bild 3.22: Abhängigkeit der Transistorausgangsspannung von der Farbschichtdicke

Würde man nun ein solches Meßsignal mit Hilfe eines Registriergerätes ausschreiben, so bekäme man völlig unanschauliche Meßschriebe. Im Bereich geringer Schichtdicken würden die auftretenden Schichtdickenschwankungen über Gebühr bewertet, hingegen wären die gleichen Schwankungen bei hohen Schichtdicken kaum wahrnehmbar. Dieser Umstand bedingt entweder eine punktweise Auswertung, was sehr zeitraubend ist, oder würde eine besondere Auswertungshilfe mit mechanischer oder elektronischer Linearisieruvorrichtung erfordern [26].

Am günstigsten ist es jedoch, das Meßsignal vor dem Registriervorgang derart zu transformieren, daß zwischen der elektrischen Größe und der Farbschichtdicke ein linearer Zusammenhang besteht [10].

Als ideales meßwertverarbeitendes Gerät bietet sich der Analogrechner an, der in diesem Fall nur Diodenfunktionsgeneratoren und Verstärker enthalten muß. Das Blockschaltbild für die Meßwertumformung eines Meßwertes ist in Bild 3.23 dargestellt. Zur Verwendung gelangte der Typ TR-10 der Firma E.A.I. [40].



- 1 Photoelektronischer Meßwertgeber
- 2 Summierer
- 3 Koeffizientenpotentiometer
- 4 Diodenfunktionsgenerator
- 5 Galvanometer des Lichtstrahloszillografes

Bild 3.23: Schema der Signalverarbeitung

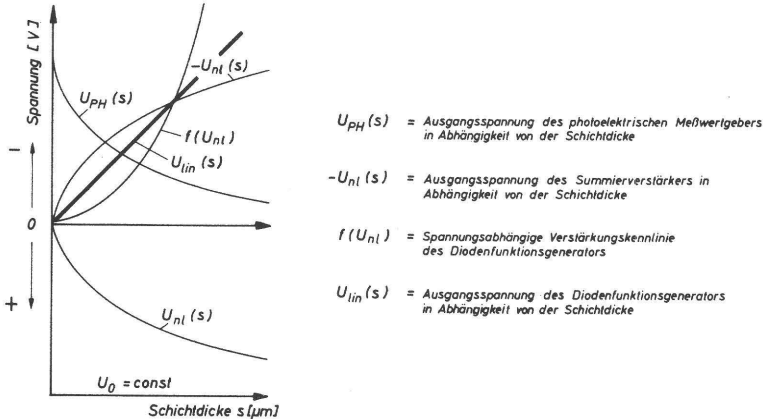


Bild 3.24: Schematische Darstellung der Spannungsverhältnisse bei der Signalverarbeitung

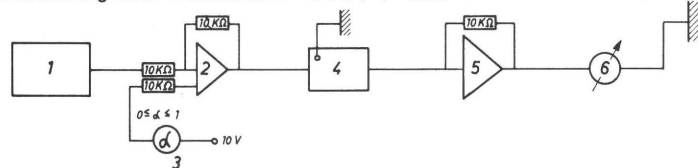
Der vom photoelektronischen Meßwertgeber gelieferten Spannung mit einer nichtlinearen Charakteristik (Bild 3.22) wird eine positive Spannung U_0 im Summierer aufaddiert (Bild 3.24). Da jeder Verstärker, also auch der Summierer, eine Vorzeichenumkehr des Eingangssignales verursacht, liefert der Summiervverstärker insgesamt eine negative Spannung.

Die Spannung am Verstärkerausgang ergibt sich zu:

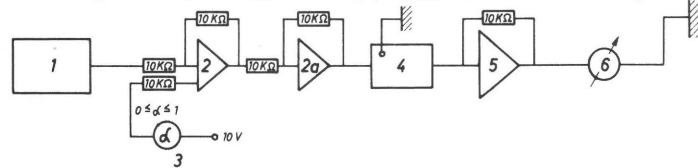
$$-U_{nl}(s) = U_{ph}(s) - (-U_0) \quad (3.3)$$

Je nach Typ des Diodenfunktionsgenerators (+) oder (-) variabel) wird die Spannung $U_{nl}(s)$ entweder mit Hilfe eines Umkehrverstärkers umpolarisiert (Bild 3.25) oder direkt dem Diodenfunktionsgenerator (DFG) zugeführt.

Linearisierung unter Zuhilfenahme eines (-) variablen Diodenfunktionsgenerators



Linearisierung unter Zuhilfenahme eines (+) variablen Diodenfunktionsgenerators



- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 Photoelektrischer Meßwertgeber | 4 Diodenfunktionsgenerator |
| 2 Summiervverstärker | 5 Verstärker |
| 2a Umkehrverstärker | 6 Galvanometer d. Lichtstrahloszillographen |
| 3 Potentiometer | |

Bild 3.25: Blockdiagramme

Der DFG verstärkt gemäß der nichtlinearen spannungsabhängigen Kennlinie $f(U_{nl})$ die Spannung $U_{nl}(s)$ dergestalt, daß sie am DFG-Ausgang Proportionalität mit der Farbschichtdicke s besitzt. Es ergibt sich:

$$U_{lin}(s) = f(U_{nl}) \cdot U_{nl}(s) = k \cdot s \quad (3.4)$$

Danach wird mit dieser Spannung ein Galvanometer des Lichtstrahloszillographen beaufschlagt. Auf diese Weise erhält man Oszillogramme, die Proportionalität zwischen Geräteanzeige und der Farbschichtdicke besitzen.

Die Verstärkungsfunktion des Diodenfunktionsgenerators wird durch einen Polygonzug aus geraden Stücken approximiert. Die Diodenfunktionsgeneratoren des TR-10 (positiv-

oder negativ-variabel) arbeiten mit festen Knickpunkten. Durch Einstellen der Potentiometer läßt sich die gewünschte Verstärkerkennlinie einstellen (Bild 3.26).

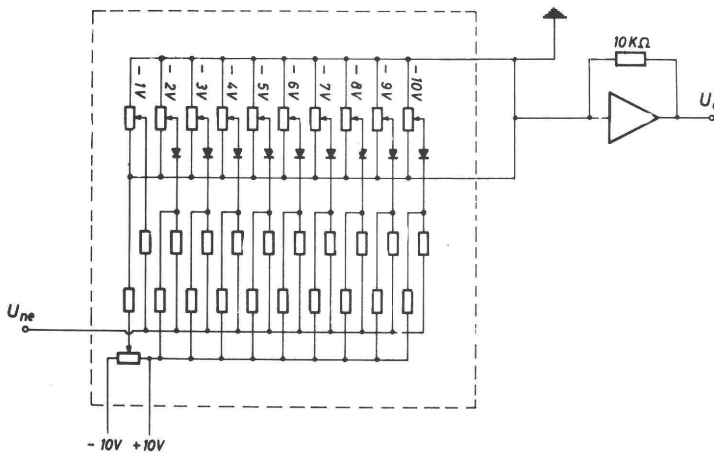


Bild 3.26: *Negativ-variabler Diodenfunktionsgenerator mit festen Knickpunkten*

Je größer die Anzahl der Knickpunkte (in diesem Fall 10) ist, desto besser ist auch die erzielbare Approximation. Da die Dioden nicht plötzlich vom gesperrten in den leitenden Zustand übergehen, erhält man einen verschliffenen Knick [41, 42]. Dieser Effekt steigert in den meisten Fällen die Güte der Approximation.

Um zu klären, ob die linearisierte Kurve einer Geraden gut entspricht, sollen die nachfolgenden theoretischen Überlegungen durchgeführt werden.

Da die Güte der Approximation nur von der Form der nicht-linearen Beziehung $U_{nl} = f(s)$ abhängt, muß diese Beziehung durch eine mathematische Näherungsgleichung ersetzt werden. Da diese Beziehung gut durch eine Sättigungsfunktion beschrieben werden kann, wird eine mathematische Näherung der Form

$$U_{nl}(s) = U_{\infty} (1 - e^{-m_1 \cdot s}) \quad (3.5)$$

gewählt. In dieser Gleichung haben die Parameter U_{∞} , m_1 und s folgende Bedeutung:

- U_{∞} ist diejenige Spannung, welche bei einer unendlich dicken Farbschicht auftritt.
- s entspricht der Farbschichtdicke.
- m_1 ist ein dem Absorptionskoeffizienten ähnlicher Faktor.

Die Verstärkungskennlinie $f(U_{nl})$ soll so gewählt werden, daß die Multiplikation der Verstärkungslinie mit der Ausgangsspannung des Summierers $U_{nl}(s)$ einer Geraden-

gleichung folgender Form entspricht:

$$s = \frac{1}{K} U_{nl}(s) \cdot f(U_{nl}) \quad (3.6)$$

Durch Umstellung erhält man direkt den Verstärkungsfaktor:

$$f(U_{nl}) = \frac{K \cdot s}{U_{\infty} (1 - e^{-m_1 \cdot s})} \quad (3.7)$$

Somit ist aus der spannungsabhängigen Verstärkungskennlinie eine quasi schicht-dickenabhängige Verstärkungskennlinie geworden. Legt man die Knickpunkte des Diodenfunktionsgenerators so, daß bei jedem ganzzahligen Vielfachen von 1 Volt der Eingangsspannung $U_{nl}(s)$ eine neue Verstärkungskennlinie wirksam wird, so kann man die dazugehörigen Schichtdickenwerte mit folgender Beziehung ermitteln:

$$s = \frac{\ln \left(\frac{U_{\infty}}{U_{\infty} - U} \right)}{m_1} \quad (3.8)$$

Durch Einsetzen der Schichtdickenwerte in die Beziehung (3.7) ergeben sich die zugehörigen Verstärkungswerte.

Nimmt man ein U_{∞} von 10 Volt und 9 wirksame Knickpunkte und variiert man den Koeffizienten m_1 , so erhält man die in Bild 3.27 dargestellten Ergebnisse.

In den Knickpunkten stimmen die so erhaltenen Werte exakt mit der Geradengleichung überein. Zwischen den Knickpunkten ergibt sich eine Abweichung der Form:

$$c(s) = U_{lin}(s) - K \cdot s \quad (3.9)$$

Der relative Fehler beträgt demnach

$$r(s) = \frac{c(s)}{K \cdot s} \cdot 100 \quad (3.10)$$

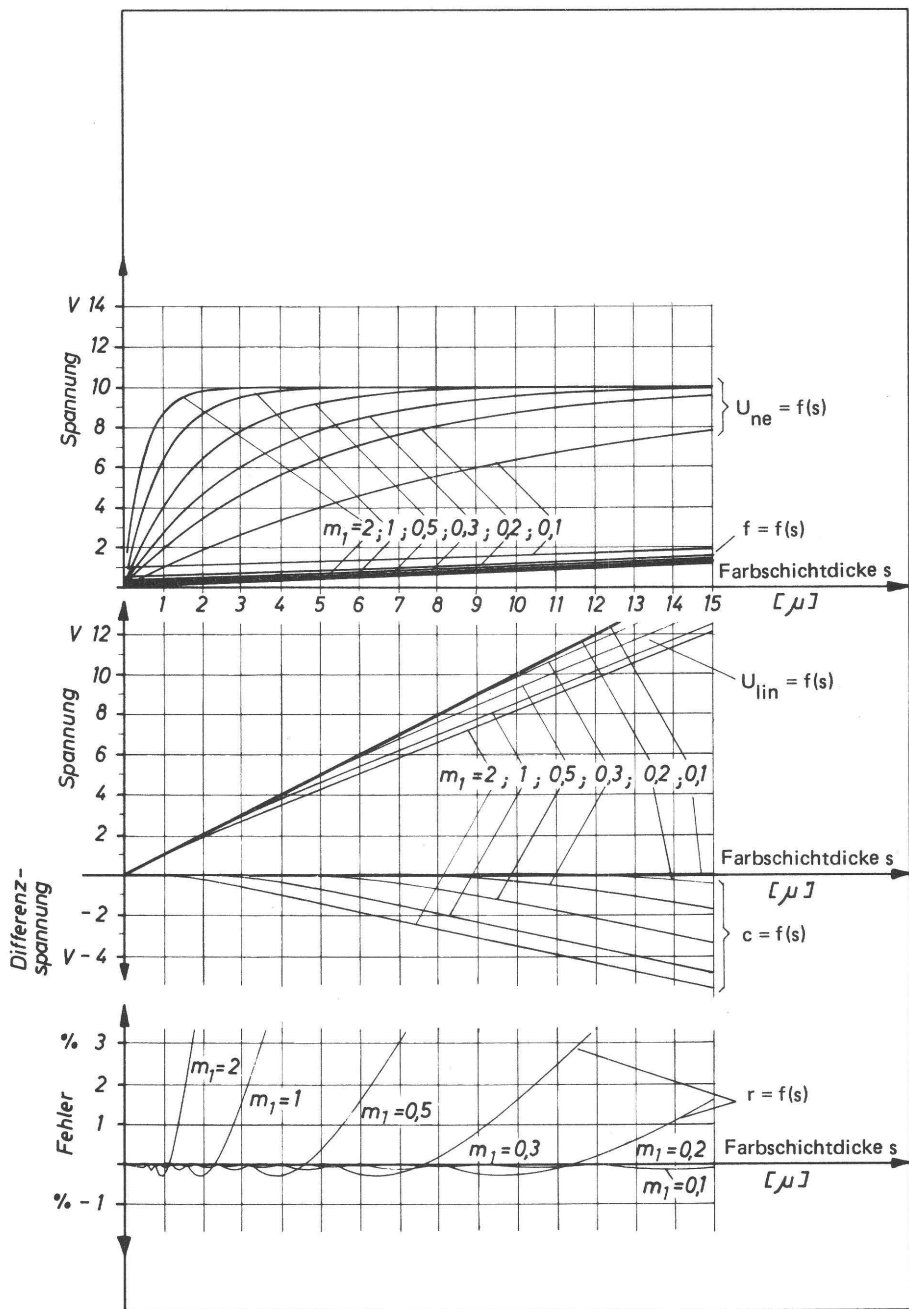


Bild 3.27: Fehlerbetrachtung bei der Linearisierung

Generell kann festgestellt werden, daß mit Abnehmen des Koeffizienten m_1 grundsätzlich eine genauere Linearisierung erreicht werden kann. Bei der Eichung der Meßwertgeber hat sich herausgestellt, daß der Koeffizient $m_1 \cong 0,5$ beträgt. Bei Schichtdickenmessungen bis zu $5 \mu\text{m}$ ist der Linearisierungsfehler kleiner als ein Prozent.

3.4 Messung des Schichtdickenverlaufes auf dem Bedruckstoff

Das photoelektrische Meßverfahren im Auflicht ist für die Messung der Farbschichtdicke auf dem Bedruckstoff ebenfalls sehr gut geeignet. Man benutzt zweckmäßigerweise die im Handel erhältlichen Geräte, z.B. Spektralphotometer und Densitometer.

Die genauesten Messungen kann man mit Hilfe eines Spektralphotometers durchführen, da es die Forderung der Verwendung monochromatischen Lichtes sowie diffuser Streuung weitgehendst gewährleistet. Um nun zu klären, bei welcher Wellenlänge λ eine Schichtdickenmessung durchgeführt werden soll, müssen zunächst die spektralen Remissionsverteilungen für eine Reihe mittels eines Probedruckgerätes erzeugten Probedrucke (Volltonflächendruck), deren Farbschichtdicke auf gravimetrischem Wege bestimmt wurde, ermittelt werden (Bild 3.28).

Diese Spektrenschär wurde mit einem Spektralphotometer „Spectronic 505“ bestimmt. Als Druckfarbe wurde eine blaue Offsetfarbe ohne Trockenstoffe verwandt. Um ein günstiges Auflösungsvermögen bei der Schichtdickenmessung zu erzielen, ist es zweckmäßig, bei einer Wellenlänge zu arbeiten, bei der die spektrale Remissionsverteilung ein Maximum aufweist.

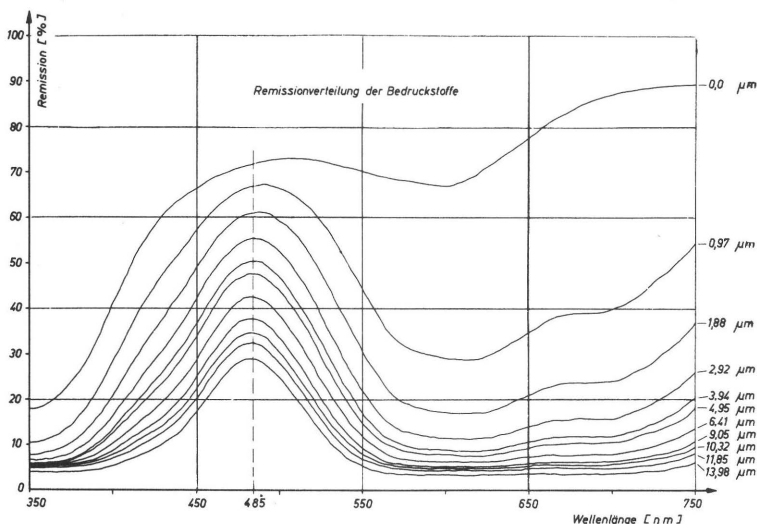


Bild 3.28: Abhängigkeit der spektralen Remissionsverteilung von der Farbschichtdicke

Aus diesem Grunde würde im vorliegenden Falle die Wellenlänge $\lambda = 485 \text{ nm}$ gewählt werden.

Trägt man die Remissionswerte bei dieser Wellenlänge über der Farbschichtdicke des Bedruckstoffes auf, so ergibt sich die in Bild 3.29 beispielsweise dargestellte Eichkurve.

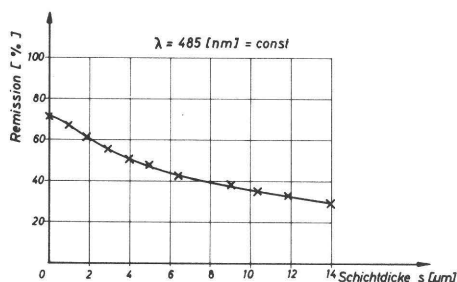


Bild 3.29:
Eichkurve bei einer Wellenlänge $\lambda = 485 \text{ nm}$

Mit Hilfe solcher Eichkurven kann man die Farbschichtdicken auf dem Bedruckstoff bestimmen. Durch punktweise Messung über der Druckbogenlänge erhält man dann das Schichtdickenrelief. Da die Handhabung dieses Gerätes recht zeitraubend ist, empfiehlt es sich, weniger komplizierte Geräte in der Art der Densitometer zu verwenden.

Das Densitometer arbeitet im Gegensatz zu einem Spektralphotometer mit polychromatischem Licht. Nicht zuletzt aus diesem Grunde besitzt es einen relativ einfachen Aufbau. Um eine Eichkurve der Form $D = f(s)$ zu erhalten, wobei s die Farbschichtdicke (μm) und D die optische Dichte ist, müssen zunächst Probedrucke mit definierter Farbschichtdicke erzeugt werden. Die Dichtemessung auf diesen Probedrucken liefert dann die Eichkurve $D = f(s)$. Nach Erhalt dieser Eichkurve kann man das Profil der Schichtdicke auf anderen Druckproben durch punktweise Messung bestimmen.

Sie kann umgekehrt dazu dienen, zu einem Schichtdickenverlauf die zugehörigen Dichten zu bestimmen. Die Bestimmung der Schichtdickenverläufe ist sehr zeitraubend, da man für ein Schichtdickenprofil bis zu 100 Einzelmessungen durchführen müßte. Aus diesem Grunde wurde eine automatisch arbeitende Auswertevorrichtung entwickelt, die sofort das Schichtdickenprofil liefert (Bild 3.30).

Die Arbeitsweise dieser Apparatur kann wie folgt beschrieben werden.

Der auszumessende Druckbogen wird auf einem Schlitten aufgespannt. Dieser Schlitten gleitet auf präzisen Führungen.

Ein Schleppmotor zieht den Schlitten und damit die Probe unter dem Meßkopf des Densitometers durch. Der Schlitten ist starr mit einem Weggeber (Linearpotentiometer) gekoppelt. Das Signal des Weggebers wird direkt der x-Achse eines x-y-Schreibers zugeführt. Der Meßkopf des Densitometers führt dem Densitometer-Grundgerät ein Signal zu. Im Grundgerät wird eine elektrische Spannung zur Anzeige gebracht, die der optischen Dichte proportional ist.

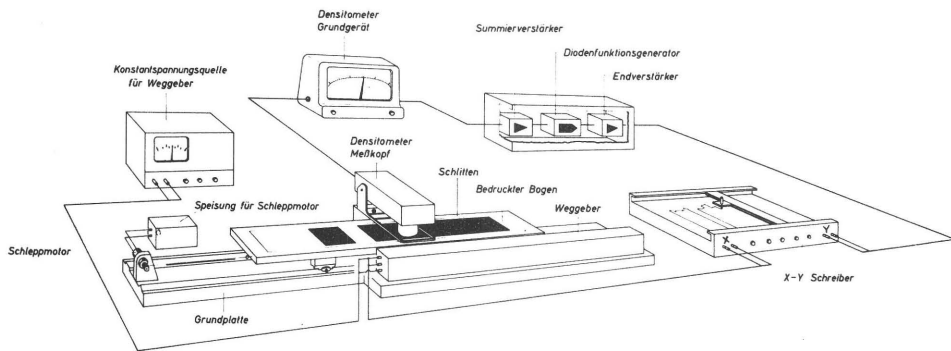


Bild 3.30: Automatische Auswertevorrichtung zur Bestimmung des Schichtdickenverlaufes

Da zwischen der Farbschichtdicke s und der optischen Dichte D kein linearer Zusammenhang besteht [43], kann man mittels eines kleinen Analogrechners, der dem Densitometer nachgeschaltet ist, zwischen der Schichtdicke und dem elektrischen Signal einen linearen Zusammenhang herstellen (Bild 3.31).

Die Eichkurve $D = f(s)$ wird direkt zur Programmierung der Diodenstrecken des Diodenfunktionsgenerators benutzt.

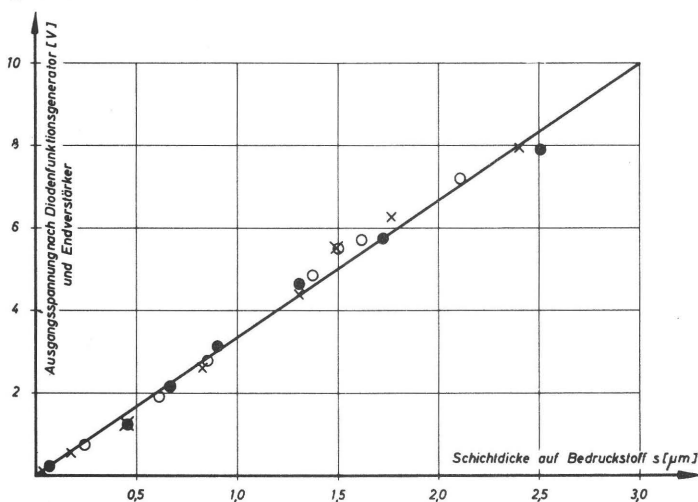


Bild 3.31: Abhängigkeit zwischen der Ausgangsspannung des Endverstärkers und der Farbschichtdicke s

Das Schichtdickensignal wird dem y-Eingang des x-y-Schreibers zugeführt. Bei Ingangsetzen der Meßapparatur erhält man also den vollständigen Schichtdickenverlauf längs der auszumessenden Druckprobe.

4. Die Modellmaschine

4.1 Aufbau und Funktion der Modellmaschine

Die Modellmaschine ist eine kleine Rollenrotationsmaschine, welche im Hochdruckverfahren arbeitet (Bild 4.1). Die Elemente der Papierabrollung sowie die Leitorgane, das Farbwerk, das Druckwerk, das Numerierwerk und das Schneidorgan sind fliegend gelagert. Diese konstruktive Anordnung wurde gewählt, damit der gesamte Papierlauf sowie das Druckwerk und das Farbwerk gut zugänglich sind.

Die von der Rolle unter annähernd konstanter Spannung ablaufende Papierbahn wird im Druckwerk bedruckt, durchläuft das Numerierwerk, das zur Kennzeichnung der bedruckten Bogen dient und wird von der Zugwalze zur Schneideeinrichtung gefördert. Wird die Drehrichtung des Zylinders geändert, so muß die Papierlaufbahn eine Wendeeinrichtung durchlaufen, bevor sie zum Numerierwerk gelangt.

Die Hilfswand 1, welche sämtliche photoelektronischen Meßwertgeber und die Thermostatisierungskammer trägt, kann zum Zweck der Reinigung des Farbwerkes abgeklappt werden (Bild 4.1).

Die Gummiwalzen des Farbwerkes sind doppelt exzentrisch gelagert und können von der Bedienungsseite her justiert werden. Es sind genügend Befestigungsstellen für die nicht angetriebenen Gummiwalzen vorhanden, so daß man in der Lage ist, eine ganze Reihe von Farbwerkkombinationen zu realisieren und sie zu untersuchen.

Die Gummiwalzen werden wie in Praxismaschinen durch Reibschluß angetrieben, die Stahlreiber sowie der Form- und Druckzylinder hingegen durch hochwertige Zahnradgetriebe.

Die Farbzufuhr erfolgt diskontinuierlich durch die oszillierende Heberwalze.

Da die Heberwalze dem Farbwerk die zuzuführende Farbmenge als Farbstreifen zuführt, kann man die Zufuhrmenge auf zwei Arten dosieren. Zum einen kann man die Dicke des Farbstreifens durch Variation des Farbmesserspaltens verändern, zum andern kann man die Länge des Farbstreifens durch Variation des Drehwinkels des Duktors steuern.

Mittels eines stufenlos regelbaren Antriebes (Regelbereich 1 : 5) kann die Maschinengeschwindigkeit in den Grenzen 0,5 m/sec bis 2,5 m/sec variiert werden. Der Changierhub der Stahlreiber kann stufenlos verändert werden. Durch ein entsprechendes Vorgelege kann die Changierfrequenz in Stufen variiert werden.

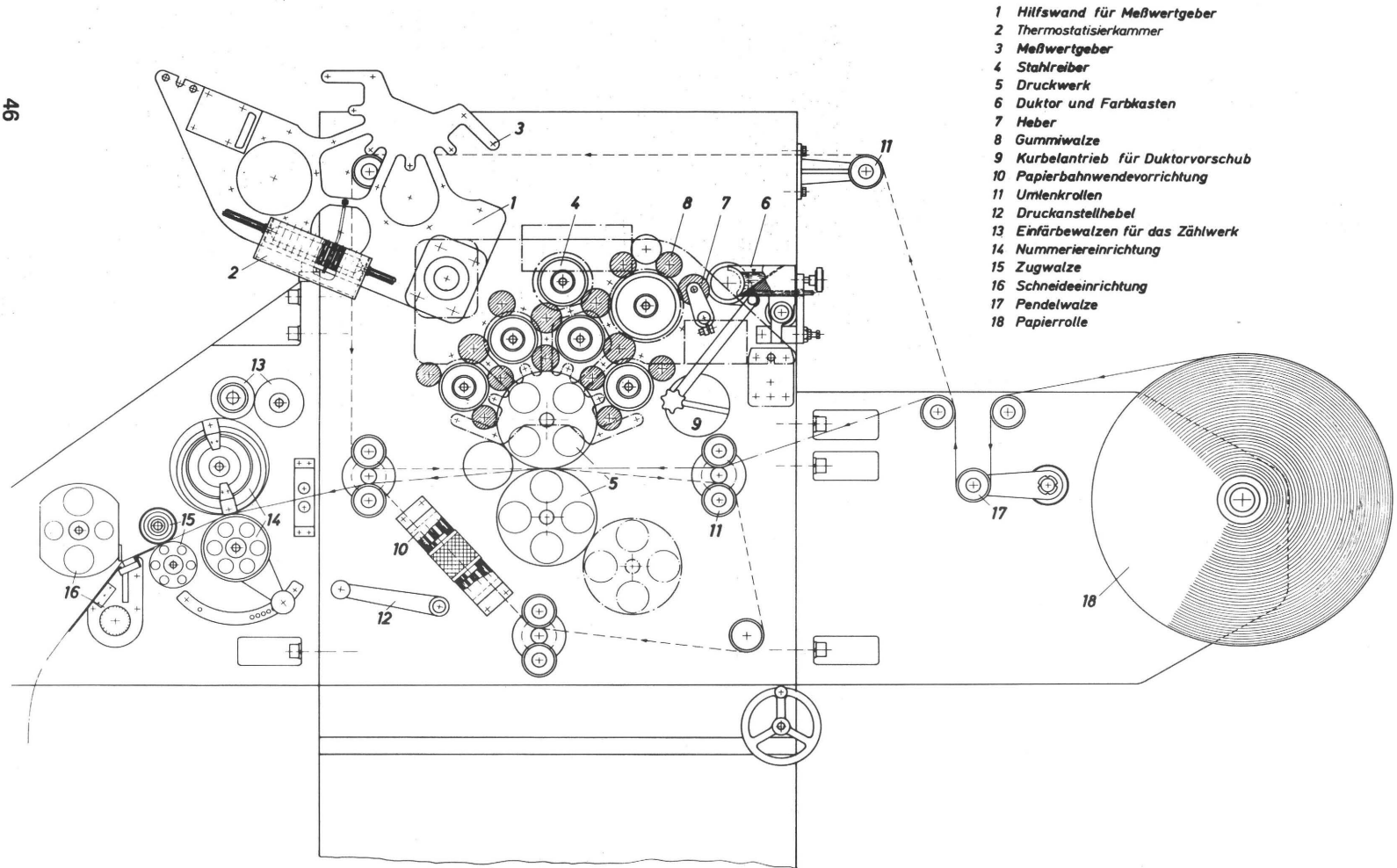


Bild 4.1: Die Modellmaschine

4.2 Der Versuchsstand

Die Modellmaschine und das Meßinstrumentarium ermöglichen die Untersuchung des Farbtransportes im Farbwerk sowie gleichzeitig die Erstellung der erforderlichen Eichkurven. Bild 4.2 zeigt eine schematische Darstellung der Modellmaschine und der wichtigsten Meßgeräte. Die Meßwerte der photoelektronischen Meßwertgeber werden über ein vieladriges abgeschirmtes Kabel dem Analogrechner zugeführt. Im Analogrechner erfolgt die Linearisierung der Meßsignale. Nach dem Verlassen des Analogrechners werden die Meßsignale entweder dem Lichtstrahloszillographen zugeführt, der die Signale simultan ausschreibt, oder die Meßsignale werden von einem Digitalvoltmeter zur Anzeige gebracht und gegebenenfalls von einem Drucker ausgeschrieben.

Um die Geräte (außer Lichtstrahloszillograph und Drucker) vor Netzschwankungen zu schützen, werden die Betriebsspannungen einem Wechelspannungskonstanter entnommen.

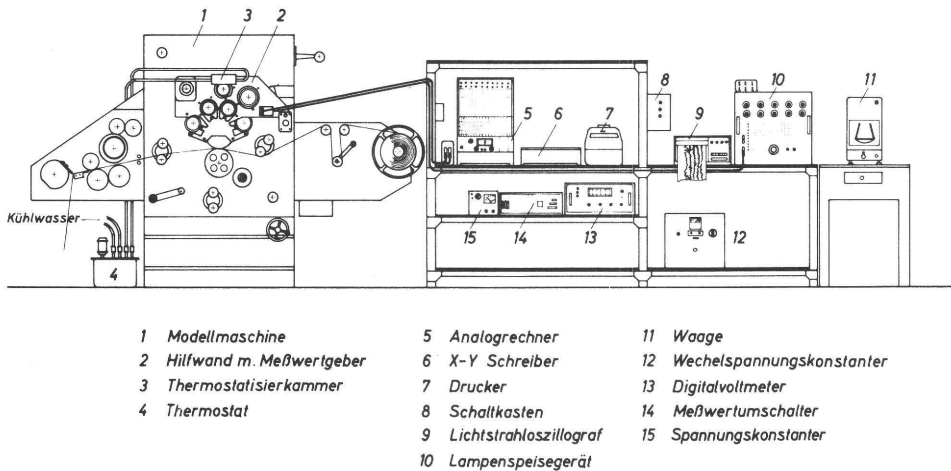


Bild 4.2: Der gesamte Versuchsstand

Die Versorgungsspannungen für die Lampen sowie für die Phototransistoren werden von dem eingangs erwähnten Digitalvoltmeter dauernd überwacht. Zum Zwecke der Eichung ist noch eine hochgenaue Analysenwaage erforderlich.

5. Messung der Hilfsgrößen

Die Maschinengeschwindigkeit (Formzylinderumfangsgeschwindigkeit) wird durch den Vergleich zweier Impulse ermittelt. Bei jeder Umdrehung des Formzylinders liefert eine photoelektrische Lichtschranke einen Impuls. Dieser Impuls wird gleichzeitig mit einem Zeitmarkenimpuls vom Lichtstrahloszillographen ausgeschrieben. Durch Umrechnung der Impulsstrecken erhält man die Drehzahl bzw. die Maschinengeschwindigkeit.

Der Duktorschrittwinkel gestattet die Bestimmung der Heberstreifenbreite und ist eine Meßzahl für die zugeführte Farbmenge. Die Messung dieses Winkels wird über eine Spannungsmessung mit Hilfe eines umlaufenden Potentiometers durchgeführt, dessen Schleiferachse mit der Duktowelle verbunden ist.

Die Messung des Anpreßdruckes liefert nicht nur die Druckverteilung, sondern auch gleichzeitig die Drucklinienbreite. Das Meßsystem besteht aus einem Taststift, welcher auf einen Kraftaufnehmer einwirkt. Beides wird in den Formzylinder eingebaut. Damit die Taststiftoberfläche mit der Zylinderoberfläche identisch ist, muß der Zylinder nach dem Einbau überschliffen werden. Die gemessene Kraft, bezogen auf die wirksame Taststiftoberfläche, ergibt dann die Flächenpressung. Die Messung der Kraft kann über eine elastische Verformung mittels induktiver Abstandsmessungen oder Dehnungsmeßstreifen erfolgen [44]. Die Piezoelektrische Kraftmessung gestattet jedoch eine nahezu weglose Messung und ist für die vorgesehene Meßaufgabe besonders gut geeignet [33]. Dank des hohen Elastizitätsmoduls des Quarzes ist die Absenkung der Tastspitze vernachlässigbar klein.

Da die Übertragung von Ladungen über Drehübertrager bekanntlich außergewöhnlich große Schwierigkeiten bereitet, wurde die Signalumformung (Ladung in Spannung) von einem in den Formzylinder eingebauten und mitrotierenden Operationsverstärker vorgenommen.

Durch günstige Auslegung des Eingangskreises konnte eine genügend hohe Zeitkonstante (~ 15 sec) erzielt werden, die eine statische Eichung des Quarzgebers gestattet [33].

Die Überwachung der wichtigen Spannungen wurde nach dem in Bild 5.1 dargestellten Schema durchgeführt.

Die Registrierung der jeweiligen Spannungen kann von einem Drucker vorgenommen werden, wobei der Meßstellenumschalter in seiner Taktfolge programmierbar ist.

Da den zu messenden Schichtdickensignalen niederfrequente (einige Hz) Störungen aufgeprägt sind, ist es von großem Vorteil, daß das verwandte Digitalvoltmeter neben dem Augenblickswert der Spannung auch deren Maximum und Minimum zu messen

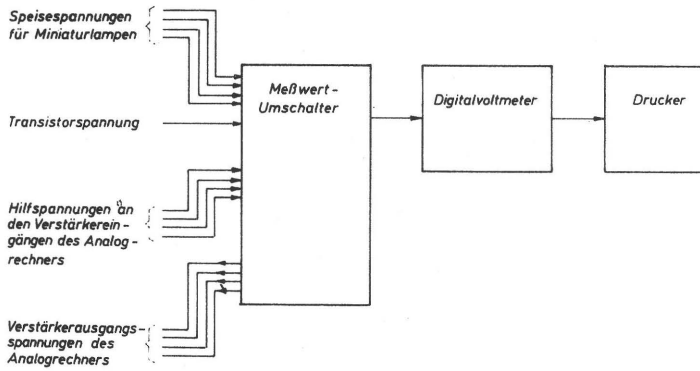


Bild 5.1: Schema der Spannungsmessung in der Versuchsanlage

gestattet. Diese Einrichtung wurde hauptsächlich bei der Eichung mit großem Vorteil in Anspruch genommen.

Die gesamte Versuchsanlage steht in einem klimatisierten Raum ($t = 20^{\circ}\text{C}$, $rF = 60\%$), damit die Druckversuche und die Farbübertragungsversuche bei konstanten Umweltbedingungen vorgenommen werden können. Die Raumtemperatur sowie die relative Luftfeuchtigkeit werden von einem Thermohygrographen registriert.

6. Theoretische Überlegungen zur Berechnung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken

Die Qualität des Druckproduktes hängt vorwiegend von der Art der Farbbelegung der Druckform ab. Das ideale Farbwerk liegt dann vor, wenn alle druckenden Flächen der Druckform einen konstanten Farbfilm tragen. In diesem Falle werden alle bedruckten Stellen auf dem Bedruckstoff eine Farbschicht konstanter Dicke tragen.

In Wirklichkeit entsteht jedoch ein Farbfilm, dessen Schichtdicke unterschiedliche Werte aufweist – ein Relief. Nur die rechnerische Ermittlung dieses Farbschichtdickenreliefs erlaubt eine exakte numerische Bewertung eines Farbwerkes.

6.1 Bisherige theoretische Überlegungen

Bei der Konstruktion von Farbwerken wurden bislang empirische Methoden in Anwendung gebracht. Daneben wurde oft der Versuch unternommen, Farbwerke rechnerisch in den Griff zu bekommen. Aus diesem Grunde sollen die Zielsetzung und die wichtigsten Ansätze der bekanntgewordenen theoretischen Überlegungen kurz behandelt werden.

Das Kaufmannsche Rechenschema [45] setzt voraus, daß der Farbfilm sich je zur Hälfte spaltet. Unter der Voraussetzung, daß der Walzenumfang der Farbauftragswalzen nicht kleiner als die Druckformlänge ist und die Auftragswalzen einen in seiner Dicke konstanten Farbfilm besitzen, wird folgende Formel zur Berechnung der Farbschichtdicke auf der Druckform angegeben:

$$x = s \cdot \frac{2^n}{2^n - 1} \quad (6.1)$$

wobei x die Farbschichtdicke auf den Auftragswalzen vor dem Einfärben, s die Farbschichtdicke auf der Druckform nach dem Einfärben und n die Anzahl der Auftragswalzen ist.

Der Verlauf der Farbschichtdicke auf dem Bedruckstoff kann mit diesem Ansatz nicht ermittelt werden.

Die theoretischen Überlegungen von Mill [3] dienten der Untersuchung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken. Dabei traf Mill folgende einschränkende Annahmen:

- a) Das Farbwerk befindet sich im Gleichgewichtszustand, d.h. die pro Arbeitsspiel zugeführte Farbmenge entspricht derjenigen Farbmenge, welche vom Bedruckstoff abgeführt wird.
- b) Die Aufspaltung des Farbfilmes nach jeder Berührzone erfolgt immer im gleichen Verhältnis.
- c) Eine unterschiedliche Einfärbung des Formzylinders, bedingt durch seine drucken-

den und nichtdruckenden Flächen, wird nicht berücksichtigt. Die dementsprechende Farbabgabe an den Bedruckstoff wird infolgedessen ebenfalls nicht berücksichtigt.

Mit Hilfe der Mill'schen Überlegungen lassen sich nur Mittelwerte der Schichtdicken auf dem Bedruckstoff bzw. auf den Walzen des Farbwerkes bestimmen.

Ein Teil seiner Überlegungen dient der Untersuchung des Zeitverhaltens eines Farbwerkes, wenn die Farbzufuhr plötzlich erhöht oder erniedrigt wird.

Als Resultat erhält er eine Näherungsgleichung, mit welcher die mittlere Farbschichtdicke auf dem Bedruckstoff in Abhängigkeit von der Anzahl der Druckexemplare berechnet werden kann.

Ruder [14] und Stockmann [46] fanden zur Beschreibung des Zeitverhaltens eines Farbwerkes eine ähnliche Näherungsgleichung wie Mill, mit deren Hilfe man die mittlere Farbschichtdicke auf dem Bedruckstoff in Abhängigkeit von der Anzahl der Druckexemplare bestimmen kann, wenn die Farbzufuhr plötzlich verändert wird.

Einen weiteren Versuch zur Charakterisierung von Farbwerken unternahm Morosow [2]. Dabei definierte er zwei Kennzahlen, welche abhängig von der Geometrie des Farbwerkes sind.

Bezeichnet man die Länge der Druckform mit L , die Durchmesser der Auftragswalzen mit $d_{a1}, d_{a2} \dots d_{ai}$ und die Durchmesser der Reiberwalzen mit $d_{r1}, d_{r2} \dots d_{ri}$, so kann man den von Morosow definierten Auftragskoeffizienten K_a und den Verreibungskoeffizienten K_r folgendermaßen berechnen.

$$K_a = \sum_i \frac{\pi \cdot d_{ai}}{L} \quad (6.2)$$

$$K_r = \sum_i \frac{\pi \cdot d_{ri}}{L} \quad (6.3)$$

Große Werte für diese beiden Koeffizienten sollen für gute Farbwerke charakteristisch sein. Eine brauchbare Beurteilung von Farbwerken mit den beiden Koeffizienten K_a und K_r ist nicht zu erwarten, da man diejenige Größe, welche einzig und allein Aufschlüsse über die Qualität eines Farbwerkes geben kann, das Farbschichtdickenrelief auf dem Bedruckstoff, hierbei gar nicht berücksichtigt. Zu dieser Überzeugung muß Morosow selbst gelangt sein, was man der Tatsache entnehmen kann, daß er einen weiteren Koeffizienten, den Ungleichförmigkeitsgrad η vorschlägt, welcher sich folgendermaßen berechnen läßt:

$$\eta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{x_{\text{mittel}}} \cdot 100 [\%] \quad (6.4)$$

x_{\max} ist hierbei das Maximum, x_{\min} das Minimum eines Farbschichtdickenverlaufes und x_{mittel} der arithmetische Mittelwert des Schichtdickenverlaufes über einer Druckbogenlänge. Die Berechnung des Ungleichförmigkeitsgrades ist erst dann möglich, wenn der Verlauf der Schichtdicke bekannt ist.

Bei experimentellen Untersuchungen fand Morosow, daß der Farbspaltungskoeffizient oberhalb einer Schichtdicke von $8\text{ }\mu\text{m}$ praktisch mit $\alpha = 0,5$ angesetzt werden kann. In Anbetracht dieser Erkenntnis entwickelte er einfache Ansätze für die Berechnung mittlerer Schichtdicken.

Zu vergleichbaren Ansätzen gelangte Bradford [47] aufgrund seiner experimentellen Untersuchungen. Bradford verwandte bei seinen Untersuchungen, welche hauptsächlich der Bestimmung des Farbspaltungskoeffizienten α dienten, aktivierte Farben.

Bei seinen theoretischen Überlegungen ging Hull [48] von einem konstanten Farbspaltungsfaktor $\alpha = 0,5$ aus. Sie zielten jedoch nicht darauf ab, das Relief der Schichtdicke auf dem Bedruckstoff zu berechnen, sondern er versuchte, mittels einfacher Annahmen eine Beurteilungsmöglichkeit für Farbwerke zu finden. Bei seinen Betrachtungen definiert er eine Störgröße D_s , welche durch eine nichtdruckende Fläche der Druckform verursacht wird. Diese Störgröße, eine willkürlich angenommene Schichtdickenschwankung, wird dann beim Durchlaufen nachfolgender Berührzonen um den Farbspaltungsfaktor α verkleinert. Hat die Störgröße n Spaltstellen durchlaufen, so beträgt ihr Wert nur noch $D_s (\alpha)^n$.

Mit dieser Methode ist Hull in der Lage, verschiedene Aussagen sehr einfacher Art über Farbwerke zu machen. Aussagen über den Einfluß verschiedener geometrischer Parameter eines Farbwerkes kann er jedoch nicht treffen. Ebenfalls kann er mit diesem Rechenschema den wahren Schichtdickenverlauf auf dem Bedruckstoff nicht bestimmen, so daß eine exakte Beurteilungsmöglichkeit entfällt.

Zu ähnlichen Resultaten wie Hull gelangte Schlagner [49]. Er definiert eine Störgröße, die sich nach jeder weiteren Spaltung um die Hälfte verringert. Damit erhält er dann die auf dem Papier auftretende Fehlergröße und zieht diese zur Bewertung des Farbwerkes heran. Das Farbschichtdickenrelief auf dem Bedruckstoff ist nach dieser Methode ebenfalls nicht erhältlich.

6.2 Eigene theoretische Überlegungen zur Berechnung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken

Ausgehend von der Überlegung, daß nur das Farbschichtdickenrelief auf dem Bedruckstoff zur Bewertung des zu untersuchenden Farbwerkes herangezogen werden kann, wurden Wege zur theoretischen Berechnung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken gesucht. Dabei sollen folgende Forderungen erfüllt werden:

1. Der Farbtransport in jedem Walzenfarbwerk beliebiger Geometrie soll berechnet werden können.
2. Neben der kontinuierlichen soll auch die diskontinuierliche Farbzufuhr (z.B. Hebersystem) berücksichtigt werden.
3. Jede beliebige Verteilung der druckenden und nichtdruckenden Flächen in Umfangsrichtung der Druckformen soll berücksichtigt werden können.
4. Alle Störgrößen herrührend von den Bedingungen 2 und 3 sowie ihre Rückkopplungen sollen berücksichtigt werden.
5. Jede beliebige Farbübertragungsfunktion soll berücksichtigt werden.

Diese Forderungen zeigen, daß ein theoretisches Modell zur Berechnung des Farbtransportes kompliziert werden muß. Wichtige Bausteine in diesem Modell sind die Farbübertragungsgleichungen, in welchen die Wechselwirkungen zwischen der Druckfarbe und den Oberflächeneigenschaften ihren Niederschlag finden. Sie werden aus diesem Grunde anschließend erläutert.

6.2.1 Die Farbübertragungsgleichungen

Es sind zwei Fälle der Farbübertragung zu unterscheiden. Beim eigentlichen Druckvorgang wird Farbe auf eine noch nicht farbführende Oberfläche übertragen. Hier spielen die Oberflächeneigenschaften (z.B. Benetzbarkeit, Porosität, Rauigkeit) des Bedruckstoffes eine bedeutsame Rolle. Der zweite Fall ist dann gegeben, wenn eine bereits farbführende Oberfläche von einer anderen farbführenden Oberfläche zusätzlich eingefärbt wird.

Der erste Fall, also die Verhältnisse der Farbübertragung von der Druckform auf den Bedruckstoff wurden von Walker und Fetzko [5] mit Hilfe eines Probedruckgerätes eingehend untersucht.

Sie fanden, daß der Vorgang der Farbübertragung durch die folgende Beziehung gut angenähert werden kann:

$$p = \left(1 - e^{-(am)^x} \right) \left\{ W_o \left(1 - e^{-\frac{m}{W_o}} \right) + a \left[m - W_o \left(1 - e^{-\frac{m}{W_o}} \right) \right] \right\} \quad (6.5)$$

wobei m das Farangebot auf der Druckform vor dem Druck und p die auf den Bedruckstoff übertragene Farbmenge (Bild 6.1) ist. Je nach Definition kann als Dimension für m und p entweder eine Schichtdicke in (μm) oder ein Flächengewicht in $[g/m^2]$ gewählt werden.

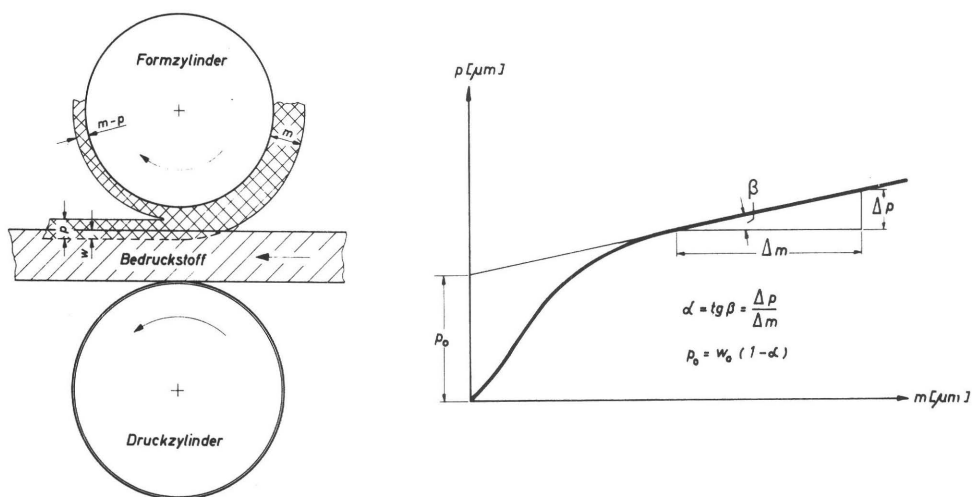


Bild 6.1: Schema der Farbübertragung

In dieser Näherungsgleichung bedeuten:

- a = die Druckglätte-Kennzahl, auch Reziprokwert der Deckfarbenmenge genannt, Dimension $[m^2/g]$ oder $[1/\mu m]$
- w_0 = eine fiktive, maximal wegschlagbare Farbmenge, Dimension $[g/m^2]$ oder $[\mu m]$
- α = Farbspaltungsfaktor, dimensionslos
- x = empirisch gefundener Korrekturfaktor, dimensionslos

Die Untersuchungen von Rupp und Rieche [7], Albrecht und Schirmer [8] sowie Wulsch und Schubert [9], welche der Untersuchung der Abhängigkeit der Kennzahlen a , α und w_0 von der Maschinengeschwindigkeit, dem Anpreßdruck sowie von papiereigenen Kennwerten dienten, wurden sämtlich auf Probedruckgeräten durchgeführt. Eigene Untersuchungen [10] zeigten, daß die Kennzahlen, von den Betriebsbedingungen, insbesondere von der Temperatur des Farbwerkes, abhängig sind. Um Werte zu erhalten, die einer Bewertung zugrunde gelegt werden dürfen, sind deshalb Messungen an Praxismaschinen oder an einer entsprechenden Modellmaschine erforderlich [10].

Aus der Farbübertragungskurve ($p = f(m)$) lassen sich die drei Kennzahlen a , α und w_0 bestimmen [50].

Zu diesem Zweck wurde ein Rechenprogramm entwickelt, das die Bestimmung von

α und w_0 unter Zuhilfenahme der Fehlerausgleichsrechnung durchführt [51]. Die gefundenen Kennzahlen werden in Gleichung (6.5) eingesetzt und danach durch Einsetzen von Wertepaaren bei niedrigen m -Werten die Kennzahl a bestimmt. Die zeichnerische Darstellung der Gleichung (6.5) mittels eines peripheren Zeichenautomaten ist ebenfalls möglich.

Da in manchen Fällen eine Ermittlung dieser Kennzahlen nach dem vorhin erläuterten Verfahren nicht möglich ist, wurde für die Gleichung (6.5) sowie für das Farbübertragungsverhältnis

$$v = f(m) = \frac{p}{m - p} \quad (6.6)$$

ein Kurvenatlas erarbeitet. Durch einen Vergleich der gemessenen Kurven $p = f(m)$ und $v = f(m)$ mit denen des Atlases kann eine grobe Abschätzung der drei Kennzahlen erfolgen. Die Kennzahlen bewegen sich dabei in folgenden Bereichen:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \alpha && \leq 0.5 \\ 0 &\leq w_0 && \leq 5.0 \\ 0 &\leq a && \leq 3.0 \end{aligned}$$

Bevor die Druckfarbe auf die Druckform gelangt, durchläuft sie zunächst das Walzenfarbwerk. Zwischen den Stahl- und Gummiwalzen des Walzenfarbwerkes kommt es in jeder Berührungszone zu einer Farbübertragung. Abgesehen von der ersten Einfärbung liegt hier der zweite Fall der Farbübertragung vor.

Durch die experimentellen Untersuchungen von Frick [53,54] wurde zunächst offenbar, daß das Farbverteilungsverhalten zwischen zwei Walzen gleichen Durchmessers (Bild 6.2) von der Zahl der Abrollungen abhängig ist. Nach einer gewissen Zahl von Abrollungen ändern sich die Schichtdickenverhältnisse nicht mehr. Ferner fand Frick bei seinen Untersuchungen, daß der Spaltungsfaktor α vom Walzenmaterial nur schwach abhängt. Grundsätzlich ergaben seine Messungen, daß bereits nach einigen Abwicklungen die Spaltungsebene mit guter Näherung in der Mitte des Gesamtfarbfilms lag.

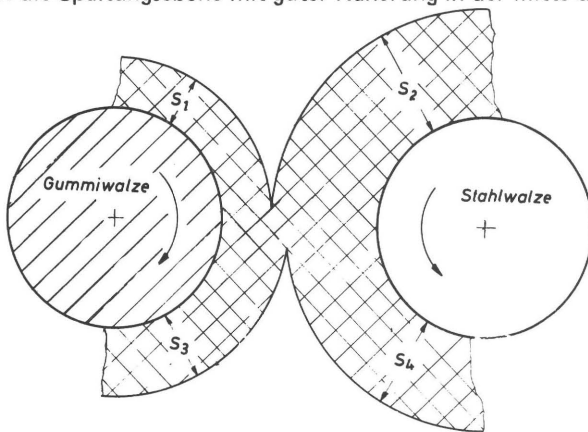


Bild 6.2: Farbübertragung zwischen Stahl- und Gummiwalzen

Ansätze der Form

$$S_3 = (S_1 + S_2) \cdot a \quad (6.7)$$

$$S_4 = (S_1 + S_2) \cdot (1 - a) \quad (6.8)$$

beschreiben diesen Zusammenhang, wobei mit guter Näherung $a = 0,5$ gesetzt werden darf.

Im Offsetdruckverfahren wird von der Druckform die Farbe zunächst an einen gummituchbezogenen Zylinder übertragen, bevor dieser in der eigentlichen Druckzone dem Bedruckstoff Farbe zuführt.

Eigene, noch unvollständige Untersuchungen [12] zeigen zwar, daß hier nicht zwingend mit einer hälftigen Farbspaltung gerechnet werden darf; andererseits haben Schichtdickenberechnungen, bei denen $a = 0,5$ gesetzt wurde, gute Übereinstimmung mit praktischen Ergebnissen gezeigt. Die Ansätze (6.7) und (6.8) bieten also auch für die Farbübertragung auf das Gummituch eine mindestens ausreichende Näherung.

6.2.2 Theoretisches Modell zur Berechnung des Farbtransportes

Eine geschlossene mathematische Lösung zur Berechnung des Farbschichtdickenreliefs auf dem Bedruckstoff ist nicht erhältlich. Aus diesem Grunde bildet man den Farbtransport im Farbwerk mittels einer Simulation nach [55].

Für diese Simulationsaufgabe erschien der Analogrechner ungeeignet, da die zwischenzeitliche Speicherung von Rechenwerten nur mit einem sehr hohen Geräteaufwand realisierbar ist. Deshalb wurde der Transportvorgang im Farbwerk mittels einer digitalen, deterministischen Simulation nachgebildet.

Die Simulation, die der Analyse des zu untersuchenden Farbwerkes dient, liefert als Endergebnis den Farbschichtdickenverlauf auf dem Bedruckstoff.

Liegt die Zeichnung eines zu analysierenden Farbwerkes vor, so abstrahiert man zunächst daraus einen Systemplan (Bild 6.3).

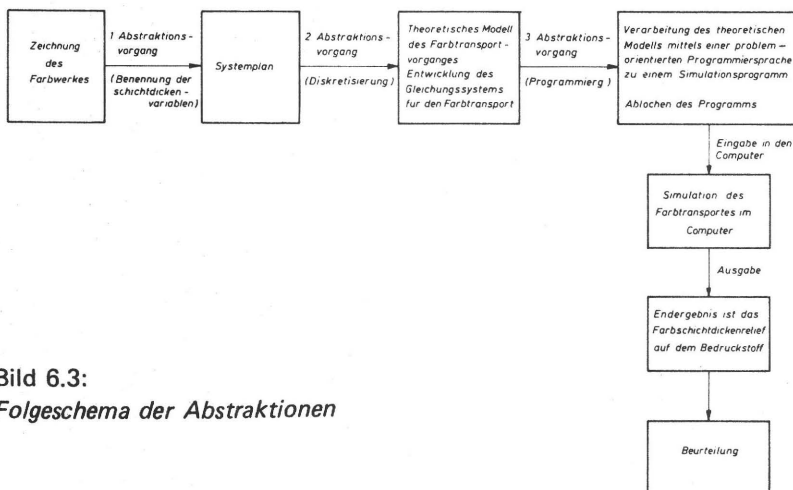


Bild 6.3:
Folgeschema der Abstraktionen

Durch eine zweite Abstraktion erhält man das theoretische Modell des Farbtransportes in Form eines Gleichungssystems. Mittels einer problemorientierten Programmiersprache (FORTRAN IV) wird das Gleichungssystem in ein Simulationsprogramm umgeformt und in den Computer eingelesen. Dieser führt die Simulation aus und liefert als Endergebnis den Verlauf der Farbschichtdicke auf dem Bedruckstoff. Dieser Schichtdickenverlauf wird mittels geeigneter Kriterien beurteilt.

Der Transportvorgang im Farbwerk besitzt einen zeitkontinuierlichen Charakter. Durch den 2. Abstraktionsvorgang wird der Transportvorgang zeitlich diskretisiert. Mathematisch wird die Diskretisierung dadurch erreicht, daß man für die Farbschichtdicken indizierte Variablen einführt. Am einfachsten ist diese Diskretisierung am Grundmodell zweier Walzen zu erläutern (Bild 6.4).

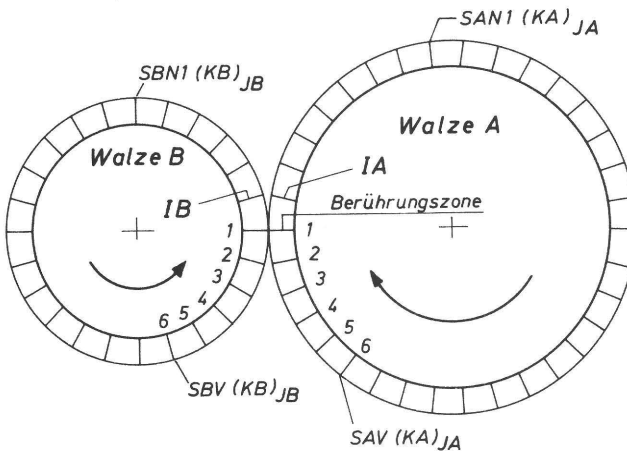


Bild 6.4: Zweiwalzenmodell

Jede Walze des Systems wird über den Umfang in kleine, gleichlange Teilabschnitte unterteilt. Die Anzahl der Schritte auf jeder Walze muß ganzzahlig sein und wird durch Auf- oder Abrundung gewonnen.

Es wird vorausgesetzt, daß die Walzen A und B ohne Schlupf exakt aufeinander abrollen. Eine Einbeziehung des Schlupfes in die theoretischen Betrachtungen läuft auf eine Korrektur des Walzenumfanges bzw. der Gesamtschrittzahl hinaus.

Bezogen auf das Beispiel in Bild 6.4 wird der Umfang der Walze A in IA Teilabschnitte und der Umfang der Walze B in IB Teilabschnitte unterteilt [55]. Rollen beide Walzen mit der gleichen Umfangsgeschwindigkeit ab, so gibt die Anzahl der abgewickelten Schritte die verflossene Zeitdauer an. Man kann also vom ortsdiskreten System zum zeitdiskreten System gelangen und umgekehrt.

Die Farbschichtdicken werden durch indizierte Variablen ausgedrückt. Ganz allgemein

kann man diese als $S_x(K_x)_{Jx}$ schreiben ¹⁾. S_x ist die Schichtdicke der Walze x .

Steht nach dem x der Buchstabe V , z.B. S_xV , so wird die Schichtdicke auf der Walze x vor der ersten Berührungszone definiert. Die Schichtdicke auf der Walze x nach der m .ten Berührungszone wird dann zu S_xNm definiert.

K_x ist der Schrittzahlindex; er gibt an, welcher Schritt am Walzenumfang betrachtet wird. Besitzt die Walze x auf ihrem Umfang I_x Schritte, so läuft der Index K_x von 1 bis I_x . Es gilt $1 \leq K_x \leq I_x$. Erreicht der Index K_x den Wert I_x , so beginnt der nächste Schritt wieder bei 1. J_x ist der Drehzahlindex. Er gibt die Zahl der absolvierten Umdrehungen der Walze x an.

Betrachten wir das in Bild 6.4 dargestellte Zweiwalzensystem. Vor der Berührungszone sei auf der Walze A die Schichtdicke $SAV(KA)_{JA}$ und auf der Walze B die Schichtdicke $SBV(KB)_{JB}$.

In der Berührungszone beider Walzen läßt sich durch Addition folgender Summenwert berechnen:

$$SAB = SAV(KA)_{JA} + SBV(KB)_{JB} \quad (6.9)$$

Nach der Berührungszone sei auf der Walze A die Schichtdicke $SAN1(KA)_{JA}$ und auf der Walze B die Schichtdicke $SBN1(KB)_{JB}$.

Die Schichtdicken $SAN1(KA)_{JA}$ und $SBN1(KB)_{JB}$ lassen sich gemäß Gleichung 6.7 und Gleichung 6.8 wie folgt berechnen:

$$SAN1(KA)_{JA} = a \cdot SAB \quad (6.10)$$

$$SBN1(KB)_{JB} = SAB - a \cdot SAB = SAB \cdot (1 - a) \quad (6.11)$$

Der Faktor a ist der Farbspaltungsfaktor.

Während einer Umdrehung der Walze A läuft der Index K_a von 1 bis I_A . Der Index J_A ändert sich in diesem Fall nicht. Wird die Umdrehung beendet, so erhöht sich der Wert von J_A um den Wert 1 und der Index K_a läuft wieder von 1 bis I_A . Analog dazu verhalten sich die Indices K_B und J_B .

Beginnt für eine der beiden Walzen (Bild 6.4) eine neue Umdrehung, so werden neue Anfangsbedingungen gesetzt:

1) Obwohl es im allgemeinen nicht üblich ist, für Variablennamen große Buchstaben zu verwenden, soll in diesem speziellen Fall davon abgewichen werden, um eine bessere Übereinstimmung zu später behandelten Simulationsprogrammen herzustellen.

$$\text{SAV(KA)}_{JA+1} = \text{SAN1(KA)}_{JA} \quad (6.12)$$

und

$$\text{SBV(KB)}_{JB+1} = \text{SBN1(KB)}_{JB} \quad (6.13)$$

Mittels dieser Betrachtungsweise kann man jeden Schichtdickenverlauf in diskreter Form ausdrücken.

Bei einer genügend engen Unterteilung des Walzenumfanges kann die Polygonverbindung der diskreten Werte in guter Näherung den kontinuierlichen Verlauf der Schichtdicke ersetzen.

Je enger die Teilung, desto höher wird die erzielte Auflösung. Gleichzeitig nimmt mit der Enge der Unterteilung die Rechenzeit sowie der Speicherplatzbedarf zu. Man muß also einerseits einen Kompromiß zwischen der Rechenzeit und dem Speicherplatzbedarf und andererseits der Auflösung anstreben.

Im folgenden soll nun die Entwicklung des theoretischen Modells an Hand eines praxisüblichen vollständigen Farbwerkes dargestellt werden. Das Schema dieses Farbwerkes (Kombination 3) ist in Bild 6.5 dargestellt.

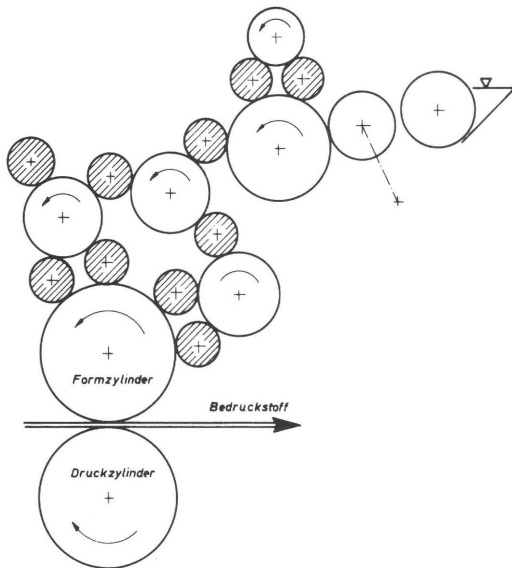


Bild 6.5: Schema der Walzenkombination 3

Für das theoretische Modell sind folgende einschränkende Voraussetzungen zu treffen:

- 1) Das Farbwerk arbeitet ohne Schlupf. Die Walzen rollen exakt aufeinander ab.
- 2) Die Auswirkungen der Changierbewegung werden nicht erfaßt. Es wird eindimensio-

nal gerechnet.

- 3) Die Anzahl der Schritte auf den Walzen muß ganzzahlig sein. Sie wird durch Auf- oder Abrundung gewonnen.
- 4) Das Schichtdickenrelief auf der Heberwalze vor dem Einlauf ist determiniert.

Der erste Abstraktionsvorgang führt zu dem Systemplan der Walzenkombination 3 (Bild 6.6). In diesem Systemplan werden zunächst die Walzen der Kombination mit Kennbuchstaben versehen (z.B. A, B1, B2 usw.). Danach werden die Schichtdicken unter Weglassen der Indices angeschrieben (z.B. SAV, SAN1 . . . SB1V . . . usw.). Dann definiert man die Walzenumfänge (IA, IB1, IB2 bzw.) und die Verschiebungsstrecken (LA1, LA2 . . . , LB1 . . . usw.), welche die geometrische Lage der Berührungszonen definieren.

Auf der Walze G entsteht zwischen der Berührungszone der Walzen K0 und G und der Berührungszone der Walzen H2 und G eine Verschiebungsstrecke. Um die Verschiebungsstrecke im mathematischen Modell zu berücksichtigen, müssen den Schichtdickenvariablen der Walze G verschiedene Indices zugeordnet werden.

Definiert man an der Berührzone der Walzen G und F1 einen der Walze G zugeordneten Index KG1, so soll dieser von 1 bis IG laufen. IG ist in diesem Fall die Gesamtheit aller Schritte auf der Walze G, die dem Umfang der Walze G entspricht. An der Berührungszone der Walzen G und H1 ist ein der Walze G zugeordneter Index KG2 definiert, welcher von LG 1 + 1 bis IG und danach von 1 bis LG1 läuft. Der Index KG2 darf aus programmtechnischen Gründen nicht den Wert 0 annehmen. An der Berührungszone zwischen den Walzen H2 und G wird der Index KG 3 definiert. Dieser läuft von LG2+1 bis IG und danach von 1 bis LG2.

An der Berührungszone der Walzen G und K0 wird schließlich der Index KG4 definiert, welcher der Walze G zugeordnet ist. Dieser Index läuft von LG3 + 1 bis IG und danach von 1 bis LG 3.

Damit sind zunächst für die Walze G alle erforderlichen Schrittindices definiert.

Für die Berechnung der Indices muß man eine Walze des Farbwerkes als Bezugswalze festlegen. Es ist von Vorteil, wenn als Bezugswalze der Formzylinder (Walze A) gewählt wird. Die Bezugswalze A besitzt meist die maximale Schrittzahl IA.

Die Walze A soll in der Druckzone den Index KA1 = N besitzen. Zum Zeitpunkt der Betrachtung soll die Walze A bereits JA Umdrehungen absolviert haben.

Mit den Werten der Bezugswalze definiert man die Zwischengröße K

$$K = N + JA \cdot IA \quad (6.14)$$

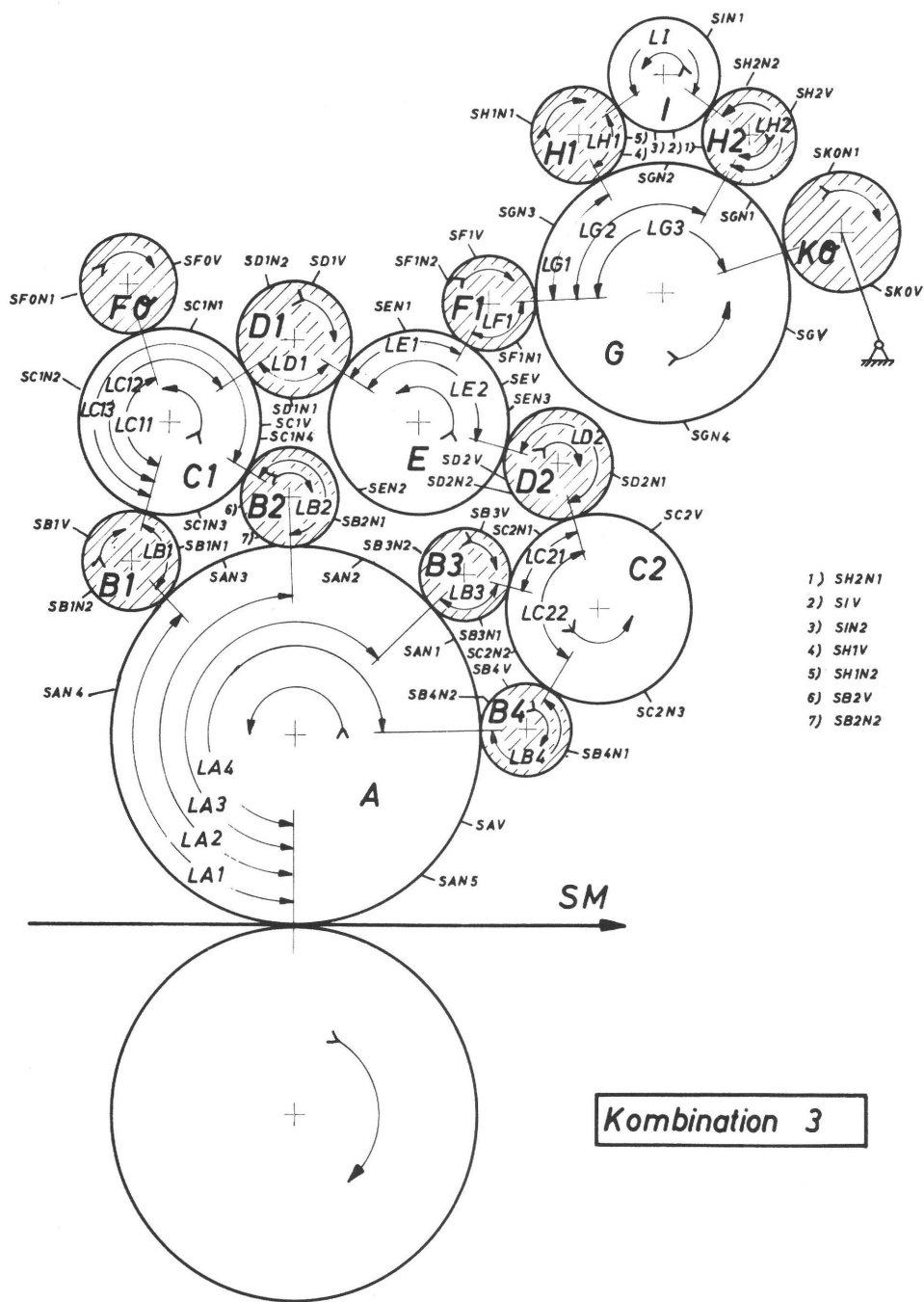


Bild 6.6: Systemplan der Walzenkombination 3

Die Zwischengröße K gibt die Gesamtzahl der absolvierten Schritte in der Druckzone an.

In diesem Ausdruck sind alle Größen ganzzahlig, so daß K ebenfalls ganzzahlig wird. Danach können wir mit der Zwischengröße K die Indices KG1, KG2, KG3 und KG4 wie folgt berechnen:

$$KG1 = K - IG \left[\frac{K-1}{IG} \right] \quad (6.15)$$

$$KG2 = K + LG1 - \left[\frac{K-1+LG1}{IG} \right] IG \quad (6.16)$$

$$KG3 = K + LG2 - \left[\frac{K-1+LG2}{IG} \right] IG \quad (6.16.1)$$

$$KG4 = K + LG3 - \left[\frac{K-1+LG3}{IG} \right] IG \quad (6.16.2)$$

Analog zu den Gleichungen (6.15) und (6.16) lassen sich die Indices der anderen Walzen (z.B. KA1, KA 2 . . KK0) bestimmen. Durch Setzen der eckigen Klammer wird definiert, daß der Quotient ganzzahlig gemacht wird. Die Ganzzahligkeit wird dadurch erreicht, indem man im Klammerwert die Zahlenfolge nach dem Komma abschneidet (Truncation). Somit erhält man für die Indices KG1, KG2, KG3 und KG4 wieder ganzzahlige Größen. Implizit ist in dem Index KG1 der Index für die Zahl der absolvierten Walzenumdrehungen, ausgedrückt durch den Quotienten in der eckigen Klammer, enthalten, so daß anstatt der doppeltindizierten Variablen, die bei der Erläuterung des Zwei-Walzenmodells verwandt wurden, einfach indizierte Variablen benutzt werden können. Nach der Festlegung der Schichtdickenvariablen und ihrer Indices kann das Gleichungssystem für den Farbtransportvorgang entwickelt werden.

In der Berührungszone zwischen den Walzen K0 und G, die abkürzungsweise K0G geschrieben wird, kann der augenblickliche Summenwert SK0G folgendermaßen berechnet werden:

$$SK0G = SK0V (KK0) + SGV (KG4) \quad (6.17.1)$$

SK0V (KK0) ist die indizierte Variable²⁾ der Farbschichtdicke auf der Heberwalze K0 vor der Berührungszone K0G und SGV (KG4) ist die indizierte Variable der Farbschichtdicke auf der Walze G vor der Berührungszone K0G.

2) Die in den Gleichungssystemen (6.17) und (6.18) aufgeführten indizierten Schichtdickenvariablen besitzen sämtlich die Dimension [μm].

Nach der Berührungszone KOG befindet sich auf der Walze K0 eine durch die indizierte Variable SK0N1 (KK0) definierte Farbschichtdicke. Die Farbschichtdicke nach der Berührungszone KOG auf der Walze G wird durch die indizierte Variable SGN1(KG4) ausgedrückt. Gemäß den Gleichungen (6.7) und (6.8) werden sie wie folgt berechnet:

$$SK0N1 (KK0) = a \cdot SK0G \quad (6.17.2)$$

$$SGN1 (KG4) = (1 - a) \cdot SK0G \quad (6.17.3)$$

Nach der Berührungszone KOG befindet sich in Drehrichtung der Walze G gesehen die nächste Berührungszone mit der Walze H2, kurz Berührungszone GH2 genannt.

In dieser Berührungszone kann der augenblickliche Summenwert SGH2 der einlaufenden Schichtdicken gebildet werden. Zwischen der Berührungszone KOG und der Berührungszone GH2 befindet sich eine Verschiebungsstrecke. Diese Verschiebungsstrecke wird dadurch im Gleichungssystem berücksichtigt, daß die Schichtdickenvariable SGN1 den Index KG 3 erhält.

Somit ergibt sich der Summenwert SGH2 zu:

$$SGH2 = SH2V (KH21) + SGN1 (KG3) \quad (6.17.4)$$

SH2V (KH21) ist die indizierte Variable der auf der Walze H2 befindlichen Schichtdicke vor der Berührungszone GH2. Nach der Berührungszone erhalten wir analog zur Gleichung (6.17.2) und Gleichung (6.17.3):

$$SH2N1 (KH21) = a \cdot SGH2 \quad (6.17.5)$$

$$SGN2 (KG3) = (1 - a) \cdot SGH2 \quad (6.17.6)$$

Für die sich anschließenden Berührungszonen werden die folgenden Gleichungen definiert:

$$SH2I = SIV (KI1) + SH2N1 (KH22) \quad (6.17.7)$$

$$SH2N2 (KH22) = a \cdot SH2I \quad (6.17.8)$$

$$SIN1 (KI2) = (1 - a) \cdot SH2I \quad (6.17.9)$$

$$SGH1 = SGN2 (KG2) + SH1V (KH11) \quad (6.17.10)$$

$$SH1N1 (KH11) = a \cdot SGH1 \quad (6.17.11)$$

$$SGN3 (KG2) = (1 - a) \cdot SGH1 \quad (6.17.12)$$

$$SH1I = SIN1 (KI1) + SH1N1 (KH12) \quad (6.17.13)$$

$$SH1N2 (KH12) = a \cdot SH1I \quad (6.17.14)$$

$$SIN2 (KI1) = (1 - a) \cdot SH1I \quad (6.17.15)$$

$$SGF1 = SGN3 (KG1) + SF1V (KH12) \quad (6.17.16)$$

SF1N1 (KF12)	= $a \cdot \text{SGF1}$	(6.17.17)
SGN4 (KG1)	= $(1 - a) \cdot \text{SGF1}$	(6.17.18)
SF1E	= $\text{SEV (KE2)} + \text{SF1N1 (KF11)}$	(6.17.19)
SF1N2 (KF12)	= $a \cdot \text{SF1E}$	(6.17.20)
SEN1 (KE2)	= $(1 - a) \cdot \text{SF1E}$	(6.17.21)
SED1	= $\text{SEN1 (KE1)} + \text{SD1V (KD12)}$	(6.17.22)
SD1N1 (KD12)	= $a \cdot \text{SED 1}$	(6.17.23)
SEN2 (KE1)	= $(1 - a) \cdot \text{SED1}$	(6.17.24)
SD1C1	= $\text{SC1V (KC13)} + \text{SD1N1 (KD11)}$	(6.17.25)
SD1N2 (KD11)	= $a \cdot \text{SD1C1}$	(6.17.26)
SC1N1 (KC13)	= $(1 - a) \cdot \text{SD1C1}$	(6.17.27)
SC1F0	= $\text{SF0V (KF0)} + \text{SC1N1 (KC12)}$	(6.17.28)
SF0N1 (KF0)	= $a \cdot \text{SC1F0}$	(6.17.29)
SC1N2 (KC12)	= $(1 - a) \cdot \text{SC1F0}$	(6.17.30)
SC1B1	= $\text{SB1V (KB12)} + \text{SC1N2 (KC11)}$	(6.17.31)
SB1N1 (KB12)	= $a \cdot \text{SC1B1}$	(6.17.32)
SC1N3 (KC11)	= $(1 - a) \cdot \text{SC1B1}$	(6.17.33)
SC1B2	= $\text{SB2V (KB22)} + \text{SC1N3 (KC14)}$	(6.17.34)
SB2N1 (KB22)	= $a \cdot \text{SC1B2}$	(6.17.35)
SC1N4 (KC14)	= $(1 - a) \cdot \text{SC1B2}$	(6.17.36)
SED2	= $\text{SD2V (KD22)} + \text{SEN2 (KE3)}$	(6.17.37)
SD2N1 (KD22)	= $a \cdot \text{SED 2}$	(6.17.38)
SEN3 (KE3)	= $(1 - a) \cdot \text{SED 2}$	(6.17.39)
SD2C2	= $\text{SC2V (KC23)} + \text{SD2N1 (KD21)}$	(6.17.40)
SD2N2 (KD21)	= $a \cdot \text{SD2C2}$	(6.17.41)
SC2N1 (KC23)	= $(1 - a) \cdot \text{SD2C2}$	(6.17.42)
SC2B3	= $\text{SB3V (KB32)} + \text{SC2N1 (KC22)}$	(6.17.43)
SB3N1 (KB32)	= $a \cdot \text{SC2B3}$	(6.17.44)
SC2N2 (KC22)	= $(1 - a) \cdot \text{SC2B3}$	(6.17.45)
SC2B4	= $\text{SB4V (KB42)} + \text{SC2N2 (KC21)}$	(6.17.46)
SB4N1 (KB42)	= $a \cdot \text{SC2B4}$	(6.17.47)
SC2N3 (KC21)	= $(1 - a) \cdot \text{SC2B4}$	(6.17.48)

Bei der Berechnung der Farbübertragung von den Auftragswalzen B1, B2, B3 und B4 auf dem Formzylinder A muß berücksichtigt werden, daß er druckende und nichtdruckende Flächen besitzt. Zu diesem Zweck wird eine indizierte Variable KDR (KI) zur Kennzeichnung der druckenden und nichtdruckenden Flächen auf der Form definiert, deren Werte kleiner, gleich oder größer als Null sein können.

Nimmt die indizierte Variable KDR (KI) den Wert $KDR (KI) > 0$ an, dann wird Farbe übertragen. Es erfolgt hingegen keine Farbübertragung, wenn $KDR (KI) \leq 0$ ist.

Die erste Farbübertragung auf den Formzylinder erfolgt in der Berührungszone zwischen den Walzen B4 und A (Berührungszone B4A). An dieser Stelle besitzen die Schichtdickenvariablen des Formzylinders den Index KA5. Man ersetzt nun den Index KI durch den Index KA5 und überprüft den Wert der Variablen KDR (KA5).

Ist $KDR(KA5) > 0$, so wird auf den Formzylinder Farbe übertragen. Der Übertragungsvorgang in der Berührungszone B4A wird folgendermaßen ausgedrückt:

$$SB4A = SAV (KA5) + SB4N1(KB41) \quad (6.17.49)$$

$$SB4N2 (KB41) = a \cdot SB4A \quad (6.17.50)$$

$$SAN1(KA5) = (1 - a) \cdot SB4A \quad (6.17.51)$$

Ist $KDR (KA5) \leq 0$, so erfolgt keine Farbübertragung. Es gilt in diesem Fall:

$$SB4N2(KB41) = SB4N1 (KB41) \quad (6.17.50.1)$$

$$SAN1(KA5) = 0 \quad (6.17.51.1)$$

Analog zu der Farbübertragung in der Berührungszone B4A wird in den Berührungszonen B3A, B2A und B1A geprüft, ob eine Farbübertragung stattfindet.

Wir können das Gleichungssystem für den Farbtransportvorgang wie folgt vervollständigen:

$$KDR(KA4) > 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} SB3A = SB3N1 (KB31) + SAN1(KA4) \quad (6.17.52) \\ SB3N2 (KB31) = a \cdot SB3A \quad (6.17.53) \\ SAN2 (KA4) = (1 - a) \cdot SB3A \quad (6.17.54) \end{array} \right.$$

$$KDR(KA4) \leq 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} SB3N2 (KB31) = SB3N1 (KB31) \quad (6.17.53.1) \\ SAN2 (KA4) = 0 \quad (6.17.54.1) \end{array} \right.$$

$$KDR(KA3) > 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} SB2A = SB2N1 (KB21) + SAN2 (KA3) \quad (6.17.55) \\ SB2N2 (KB21) = a \cdot SB2A \quad (6.17.56) \\ SAN3 (KA3) = (1 - a) \cdot SB2A \quad (6.17.57) \end{array} \right.$$

$$KDR(KA3) \leq 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} SB2N2 (KB21) = SB2N1 (KB21) \quad (6.17.56.1) \\ SAN3 (KA3) = 0 \quad (6.17.57.1) \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
 \text{KDR}(\text{KA2}) > 0 \quad & \begin{cases} \text{SB1A} & = \text{SAN3}(\text{KA2}) + \text{SB1N1}(\text{KB11}) & (6.17.58) \\ \text{SB1N2}(\text{KB11}) & = a \cdot \text{SB1A} & (6.17.59) \\ \text{SAN4}(\text{KA2}) & = (1 - a) \cdot \text{SB1A} & (6.17.60) \end{cases} \\
 \text{KDR}(\text{KA2}) \leq 0 \quad & \begin{cases} \text{SB1N2}(\text{KB11}) & = \text{SB1N1}(\text{KB11}) & (6.17.59.1) \\ \text{SAN4}(\text{KA2}) & = 0 & (6.17.60.1) \end{cases}
 \end{aligned}$$

In der Druckzone erfolgt die Farbübertragung auf den Bedruckstoff gemäß Gleichung (6.5) zu:

$$\begin{aligned}
 \text{SM}(\text{KM}) = & (1 - e^{-\{a \cdot \text{SAN4}(\text{KA1})\}^x}) \left\{ W_0 \left(1 - e^{-\frac{\text{SAN4}(\text{KA1})}{W_0}} \right) \right. \\
 & \left. + a_1 \left[\text{SAN4}(\text{KA1}) - W_0 \left(1 - e^{-\frac{\text{SAN4}(\text{KA1})}{W_0}} \right) \right] \right\} \\
 & (6.17.61)
 \end{aligned}$$

Nach der Druckzone verbleibt auf dem Formzylinder die Schichtdicke:

$$\text{SAN5}(\text{KA1}) = \text{SAN4}(\text{KA1}) - \text{SM}(\text{KM}) \quad (6.17.62)$$

Nach der Berechnung des Gleichungssystems (6.17) müssen die Anfangsbedingungen für die nachfolgende Umdrehung jeder Walze definiert werden. Es gilt:

$$\begin{aligned}
 \text{SGV}(\text{KG4}) &= \text{SGN4}(\text{KG4}) & (6.18.1) \\
 \text{SH2V}(\text{KH21}) &= \text{SH2N2}(\text{KH21}) & (6.18.2) \\
 \text{SIV}(\text{KI2}) &= \text{SIN2}(\text{KI2}) & (6.18.3) \\
 \text{SH1V}(\text{KH11}) &= \text{SH1N2}(\text{KH11}) & (6.18.4) \\
 \text{SF1V}(\text{KF12}) &= \text{SF1N2}(\text{KF12}) & (6.18.5) \\
 \text{SEV}(\text{KE2}) &= \text{SEN3}(\text{KE2}) & (6.18.6) \\
 \text{SD1V}(\text{KD12}) &= \text{SD1N2}(\text{KD12}) & (6.18.7) \\
 \text{SD2V}(\text{KD22}) &= \text{SD2N2}(\text{KD22}) & (6.18.8) \\
 \text{SF0V}(\text{KF0}) &= \text{SF0N1}(\text{KF0}) & (6.18.9) \\
 \text{SC1V}(\text{KC13}) &= \text{SC1N4}(\text{KC13}) & (6.18.10) \\
 \text{SC2V}(\text{KC23}) &= \text{SC2N3}(\text{KC23}) & (6.18.11) \\
 \text{SB1V}(\text{KB12}) &= \text{SB1N2}(\text{KB12}) & (6.18.12) \\
 \text{SB2V}(\text{KB22}) &= \text{SB2N2}(\text{KB22}) & (6.18.13) \\
 \text{SB3V}(\text{KB32}) &= \text{SB3N2}(\text{KB32}) & (6.18.14) \\
 \text{SB4V}(\text{KB42}) &= \text{SB4N2}(\text{KB42}) & (6.18.15) \\
 \text{SAV}(\text{KA5}) &= \text{SAN5}(\text{KA5}) & (6.18.16)
 \end{aligned}$$

Das Schichtdickenrelief auf dem Bedruckstoff wird sich bei jeder Umdrehung des

Formzylinders ändern. Nach einer genügend großen Anzahl von Zylinderumdrehungen ergibt sich, wie später noch gezeigt wird, ein Beharrungszustand.

Bei der Simulation des Transportvorganges wird, ausgehend vom farbfreien Farbwerk, der Anlaufvorgang durchlaufen. Man gelangt schließlich zum Gleichgewichtszustand, der dadurch gekennzeichnet ist, daß die zugeführte Farbmenge der abgeführten Farbmenge gleich ist. Es hat sich gezeigt, daß dieser Zustand sich bei ca. 50 bis 100 Umdrehungen einstellt. Die Simulation kann dann abgebrochen werden.

Wird der Umfang des Formzylinders in 100 Schritte zerlegt, so muß das Gleichungssystem (6.17) also wenigstens 5 000 mal durchgerechnet werden.

Treffen wir zudem die Annahme, daß in jeder Gleichung des Gleichungssystems (6.17) nur eine Rechenoperation ausgeführt wird, so sind mindestens 305 000 Rechenoperationen für die Bestimmung des Schichtdickenverlaufes erforderlich. Da man jedoch die erforderlichen Schichtdickenindices für jeden Durchlauf des Gleichungssystems (6.17) erneut berechnen muß (z.B. $KG_1, KG_2, \dots KA_5, KA_4 \dots KA_1, KM$) und danach mit Hilfe des Gleichungssystems (6.18) die neuen Anfangsbedingungen schaffen muß, liegt die Zahl der erforderlichen Rechenoperationen etwa doppelt so hoch. Die Abschätzung der für eine Simulation durchzuführenden Rechenoperationen ergibt, daß die Simulation des Farbtransportes nur mittels einer Großrechenanlage ausgeführt werden kann.

Der dem Heber (Walze K_0) zugeführte Heberstreifen besitzt eine konstante mit S_2 bezeichnete Schichtdicke und eine Breite von KBR Schritten.

Liegt der Heber bei Beginn der Simulation nicht am Dukt an, oder beginnt sich dieser nicht unmittelbar bei Beginn der Simulation zu drehen, so entsteht eine Phasenverschiebung von $KIBI$ Schritten.

Weist das Farbwerk, wie es vorwiegend der Fall ist, nur einen Heber auf, so wird man den Anfangszustand so wählen, daß $KIBI = 0$ ist. Vor und nach dem Heberstreifen besitzt der Schichtdickenverlauf SK_0V (KK_0) bei der n -ten Umdrehung die Werte des Schichtdickenverlaufes SK_{0N1} (KK_0) der $(n-1)$ -ten Umdrehung. Für $n = 1$, also bei Beginn der Simulation, wird SK_{0N1} (KK_0) = 0.

Wird die Farbe kontinuierlich zugeführt, so setzt man SK_0V (KK_0) = S_2 = const. > 0 .

Das theoretische Modell des Farbtransportvorganges wird mittels einer problemorientierten Programmiersprache in ein Simulationsprogramm umgeformt. Die problemorientierte Programmiersprache FORTRAN IV hat sich dafür als gut geeignet erwiesen. Die Computerausschrift des Simulationsprogrammes (Quellenprogramm) der Walzenkombination 3 befindet sich im Anhang (Seite II bis VIII). Zur Erläuterung der wichtigsten Programmteile möge das in Bild 6.7 dargestellte Strukturdiagramm dienen.

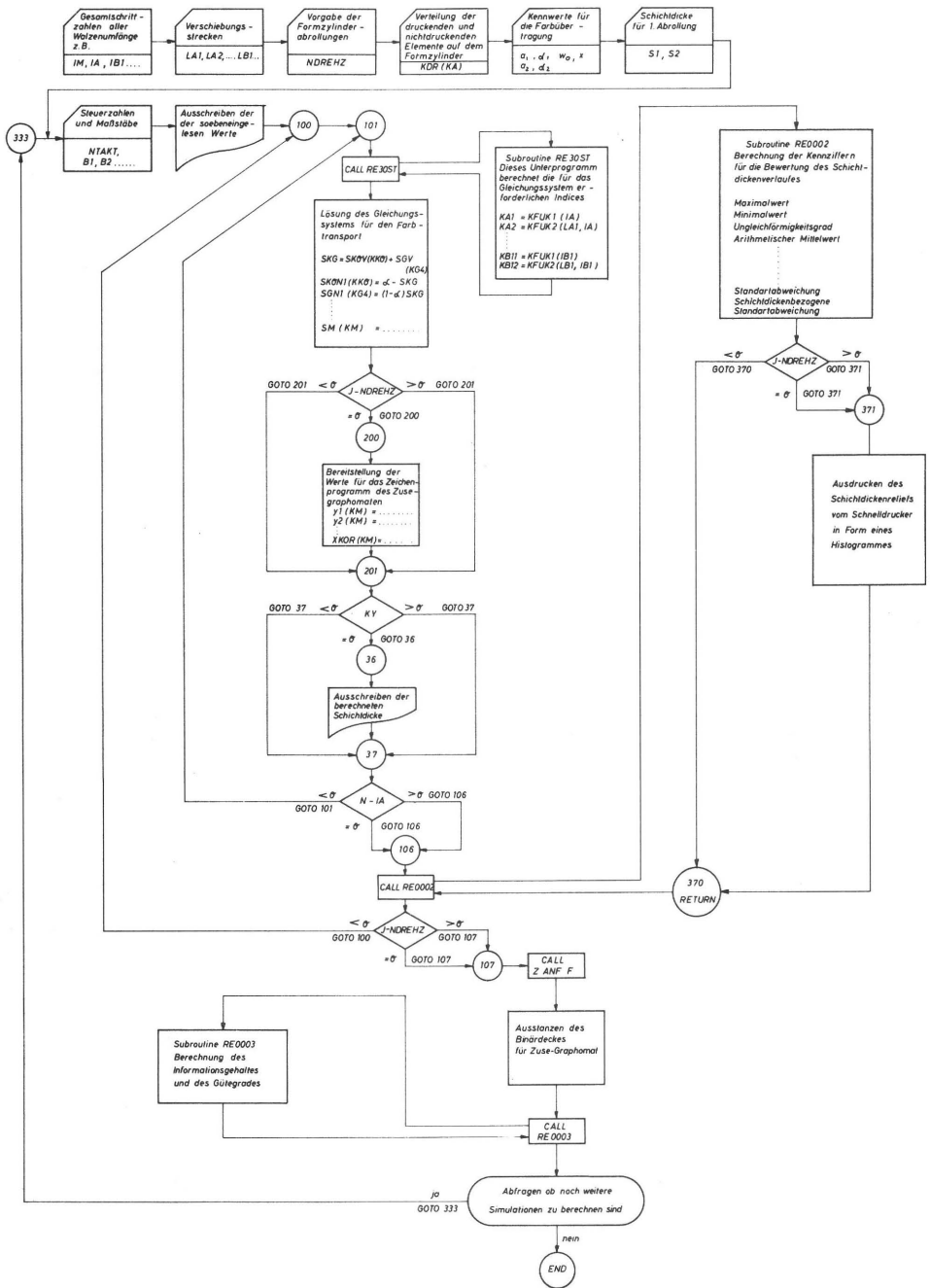


Bild 6.7: Strukturdiagramm der Farbtransportsimulation

Durch eine Reihe von Befehlen (Bild 6.7) werden die Daten der Geometrie IM, IA1 . . . IK0, LA1, LA2 . . . LG4, die Zahl der zu simulierenden Formzylinderumdrehungen NDREHZ, die Verteilung der druckenden und nichtdruckenden Flächen auf der Druckform KDR (KI), die Kennzahlen der Farbübertragung auf den Bedruckstoff a , w_0 , a_1 , der Farbspaltungsfaktor zwischen den Gummi- und den Stahlwalzen a_2 , die Schichtdicke auf der Heberwalze S2 vor der Einspeisung in das Farbwerk sowie die Steuerzahlen für die gewünschte Form der Datenausgabe eingelesen. Danach werden die soeben eingelesenen Daten zu Dokumentationszwecken ausgedruckt. Beim Befehl mit der Kennzeichnung 100 beginnt in einer äußeren Schleife die Simulation (Start der ersten Formzylinderumdrehung). Der Befehl 101 kennzeichnet den Eintritt in die innere Schleife.

Der Befehl CALL RE30ST dient dem Aufruf des Unterprogramms, das die Berechnung aller erforderlichen Indices vornimmt. Danach wird das Gleichungssystem für den Transportvorgang gelöst. Als Lösung erhält man die Schichtdicke auf dem Bedruckstoff für den soeben betrachteten Schritt.

Danach wird abgefragt, ob möglicherweise schon die letzte Umdrehung des Formzylinders vorliegt. In diesem Fall werden die interessierenden Werte für ein gesondertes Zeichenprogramm bereitgestellt.

Nach dem Befehl 201 wird abgefragt, ob die berechneten Schichtdickenwerte ausgedruckt werden sollen. In der darauffolgenden Abfrage (nach dem Befehl 37) soll nachgeprüft werden, ob der letzte Schritt auf dem Formzylinder (KA = IA) gerade vorliegt. Ist der letzte Schritt noch nicht erreicht, beginnt ein neuer Durchlauf in der inneren Schleife beim Befehl 101. Beim Erreichen des letzten Schrittes des Formzylinderumfanges wird das Unterprogramm RE0002 zur Beurteilung des Schichtdickenverlaufes auf dem Bedruckstoff aufgerufen. Danach wird wieder abgefragt, ob die letzte Umdrehung des Formzylinders vorliegt. Falls diese noch nicht erreicht ist, wird zum Befehl 100 gesprungen. Nach Erreichen der letzten Umdrehung wird ein Zeichenprogramm zum Erstellen eines Kartendecks für einen x-y-Schreiber aufgerufen.

Danach wird das Unterprogramm RE0003, welches ebenfalls der Beurteilung des Schichtdickenreliefs auf dem Bedruckstoff dient, aufgerufen.

In einer letzten Abfrage wird nachgeprüft, ob eine weitere Simulation mit geänderten Parametern ausgeführt werden soll. Liegt dieser Fall vor, beginnt ein neuer Simulationslauf beim Befehl 333. Andernfalls wird durch den END-Befehl das logische Ende und durch den STOP-Befehl das physikalische Ende der Berechnung bewirkt.

6.3 Kennziffern zur Bewertung der Schichtdickenverläufe und der Dichteverläufe längs des Bedruckstoffes

Die Aufgabe eines Farbwerkes besteht darin, den druckenden Formelementen eine gleichmäßige Farbbelegung zu erteilen. Da die Bedruckstoffe sich bei der Farban-

me makroskopisch nahezu homogen verhalten, bedeutet dies auch eine gleichmäßige Farbbelegung des Bedruckstoffes. Je vollkommener diese Aufgabe erfüllt wird, desto besser fallen auch die Druckprodukte aus. Der ideale Fall liegt dann vor, wenn die druckenden Formelemente und damit auch die bedruckten Teile des Bedruckstoffes einen Farbfilm von konstanter Dicke besitzen. In der Praxis wird der ideale Fall nur in unvollkommener Form erreicht, da Störeinflüsse, verursacht durch diskontinuierliche Farbzufuhr und Rückwirkungseffekte durch diskontinuierliche Farbabfuhr infolge unterbrochener Druckformen wirksam werden [56].

Der Druckausfall hängt somit davon ab, wie das Farbwerk durch die Zahl und Anordnung der Walzen diese Rückwirkungen abbaut.

Für die Beurteilung der Farbwerksfunktion sind sowohl die Schichtdickenverläufe auf der Druckform als auch auf dem Bedruckstoff gleichermaßen geeignet. Im Hinblick auf die Praxis, wo eine Messung auf der Druckform fast unmöglich ist, wird vorzugsweise der Schichtdickenverlauf auf dem Bedruckstoff zur Beurteilung herangezogen [57]. Es ist sinnvoll, nur die bedruckten Stellen l_1 bis l_2 usw. zu bewerten (Bild 6.8).

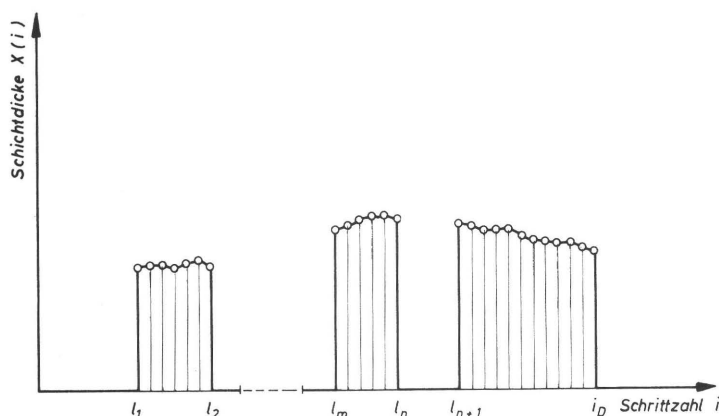


Bild 6.8: Schema eines mehrfach unterbrochenen Schichtdickenverlaufes

Da die Kurvenverläufe in den seltensten Fällen ohne eine zahlenmäßige Bewertung vergleichbar sind, ist es erforderlich, Bewertungskennziffern hierfür zu schaffen. In den nachfolgenden Betrachtungen steht das Symbol $x(i)$ entweder für die Schichtdicke $s(i)$ oder für die optische Dichte $D(i)$.

Grundlage aller Bewertungsziffern sind die Größen x_{\max} , x_{\min} , x_{mittel} und x_{qumi} . Die Extremwerte x_{\max} und x_{\min} des Kurvenverlaufes können natürlich sofort abgelesen werden.

Liegt der Schichtdickenverlauf in diskreter Form vor, so wird der arithmetische sowie auch der quadratische Mittelwert durch eine Summation der diskreten Werte gewonnen. Der arithmetische Mittelwert x_{mittel} des Schichtdickenverlaufes ergibt sich aus:

$$x_{\text{mittel}} = \frac{1}{l_2 - l_1} \sum_{i=1}^{i=l_2} x(i) \dots + \frac{1}{l_n - l_m} \sum_{i=1}^{i=l_n} x(i) + \frac{1}{l_D - l_{n+1}} \sum_{i=1}^{i=l_D} x(i) \quad (6.19)$$

Der quadratische Mittelwert x_{qumi} des Schichtdickenverlaufes wird wie folgt berechnet:

$$x_{\text{qumi}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=l_D} [x(i)]^2}{n}} \quad (6.20)$$

Dabei ist

$$n = (l_2 - l_1) + \dots + (l_n - l_m) + (l_D - l_{n+1}) \quad (6.21)$$

die Gesamtheit aller betrachteten Schritte ($\hat{=}$ Länge der bedruckten Stellen).

Mittels der Werte x_{max} , x_{min} und x_{mittel} kann man den Ungleichförmigkeitsgrad

$$\eta = \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{x_{\text{mittel}}} \cdot 100 [\%] \quad (6.22)$$

bilden.

Er bewertet einen Werteverlauf relativ undifferenziert, weil er nur die beiden Extremwerte erfaßt. Dazwischen liegende Schwankungen wirken sich im Ergebnis nicht aus.

Eine in der Elektrotechnik gebräuchliche Kennziffer, der Formfaktor, kann ebenfalls zur Beurteilung der Gleichmäßigkeit eines Werteverlaufes herangezogen werden. Je weiter dieser Faktor über den Wert 1 ansteigt, desto stärker weicht auch der Kurvenverlauf von dem Rechteckverlauf ab. Der Formfaktor ergibt sich zu:

$$f_0 = \frac{x_{\text{qumi}}}{x_{\text{mittel}}} \quad (6.23)$$

Eine andere Kennziffer, die durchschnittliche Abweichung, gibt den Durchschnittswert der Abweichung des jeweiligen Wertes $x(i)$ vom Mittelwert an. Diese Kennziffer bewertet nicht nur einzelne Extreme, sondern den ganzen Verlauf. Sie ergibt sich zu:

$$d_u = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{i=2} [x(i) - x_{\text{mittel}}] + \dots + \sum_{i=1}^{i=n} [x(i) - x_{\text{mittel}}] + \sum_{i=1}^{i=i_D} [x(i) - x_{\text{mittel}}] \right] \quad (6.24)$$

Ein weiterer statistischer Kennwert, die Varianz der Schichtdicke, erlaubt ebenfalls eine differenziertere Beurteilung des Werteverlaufes. Diese Kennziffer bewertet ebenfalls weniger einzelne hohe Spitzen als vielmehr die Glätte des Gesamtverlaufes. Sie ergibt sich zu:

$$q = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{i=2} [x(i) - x_{\text{mittel}}]^2 + \dots + \sum_{i=1}^{i=n} [x(i) - x_{\text{mittel}}]^2 + \sum_{i=1}^{i=i_D} [x(i) - x_{\text{mittel}}]^2 \right] \quad (6.25)$$

Aus der Varianz der Schichtdicke kann man auf einfache Weise die Standardabweichung

$$Q_s = \sqrt{q} \quad (6.26)$$

ermitteln.

Bei vergleichenden Untersuchungen verwendet man anstatt der Standardabweichung Q_s die schichtdickenbezogene Standardabweichung

$$\psi = \frac{Q_s}{x_{\text{mittel}}} \quad (6.27)$$

Die in Kapitel 6.3 erläuterten Kennziffern werden bei Ausführung der Simulation vom Unterprogramm RE0002 (Anhang, Seite VIII bis IX) gebildet.

6.3.1 Diskussion der Kennziffern

Beim Gebrauch der Kennziffern stellte es sich heraus, daß der Ungleichförmigkeitsgrad η , die Standardabweichung Q_s und die schichtdickenbezogene Standardabweichung ψ für die Beurteilung eines Schichtdickenverlaufes am besten geeignet sind. Der Ungleichförmigkeitsgrad η gestattet die Bewertung der Extremwerte. Die Standardabweichung Q_s und die schichtdickenbezogene Standardabweichung ψ ermöglichen hingegen die Bewertung des Gesamtverlaufes.

6.4 Möglichkeiten einer absoluten Bewertung

6.4.1 Farbmimetrische Bewertung

Obwohl die farbmimetrische Beurteilung noch ungenügend ausgearbeitet ist, soll sie kurz erläutert werden.

Die spektrale Remissionsverteilung ist abhängig von der Farbschichtdicke auf dem Bedruckstoff (vergl. Bild 3.28). Jeder Farbschichtdicke entspricht ein eigener Farbort. Die Untersuchungen von Mac Adam [58] über den Schwellenwert des menschlichen Auges für Farbunterschiede gestatten eine Bewertung der Druckprobe in physiologischer Hinsicht. Seine Untersuchungen ergaben, daß die Toleranzfelder der Schwellenwerte, dargestellt in der Farbtabelle nach C.I.E., Ellipsenform besitzen und je nach ihrem Mittelpunkt farbbort unterschiedliche Größen aufweisen (Bild 6.9).

Wählt man den Farbort der mittleren Farbschichtdicke als Ellipsenmittelpunkt, so kann man nachprüfen, ob die Farbörter derjenigen Stellen des Druckes, welche die maximale und die minimale Farbschichtdicke besitzen, außerhalb oder innerhalb dieser Ellipse liegen. Befinden sich die Farbörter innerhalb der Ellipse, so darf man den Druck und somit das Farbwerk als gut bezeichnen. Befinden sich die Farbörter außerhalb der Ellipse, so wird mit Sicherheit ein Farbunterschied vom Normalbeobachter wahrgenommen werden.

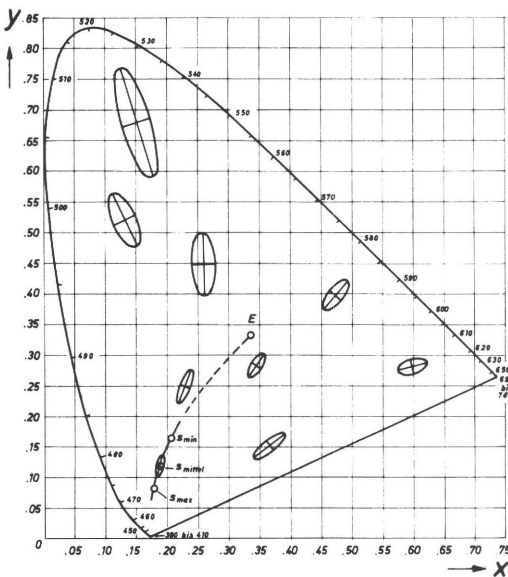


Bild 6.9:
Toleranzellipsen im Farbdreieck

Da zur Zeit erst eine geringe Zahl von Toleranzfeldern vermessen worden sind, muß zunächst auf diese elegante Bewertungsmethode verzichtet werden.

6.4.2 Informationstheoretische Bewertung

Der Druckprozeß kann als eine Kette von informationsübertragenden Elementen aufgefaßt werden [60]. Die Kette beginnt bei der Vorlage und endet beim Druckprodukt. Die Druckmaschine selbst stellt nur ein kurzes Teilstück der Gesamtkette dar. Dieses Teilstück umfaßt z.B. beim Hochdruck- und Tiefdruckverfahren den Vorgang der Druckformeneinfärbung sowie den Vorgang der Farbübertragung auf den Bedruckstoff. Beide Vorgänge können durch zwei hintereinandergeschaltete Kanalelemente KE1 und KE2 ersatzweise dargestellt werden (Bild 6.10).

Das Kanalelement KE1 repräsentiert den Vorgang der Druckformeneinfärbung und das Kanalelement KE2 den Vorgang der Farbübertragung in der Druckzone.

Bei unserer Betrachtungsweise berücksichtigen wir nur die druckenden Flächen auf der Druckform (Volltonflächen). Der Informationsgehalt eines Bildes beträgt allgemein ausgedrückt.

$$H = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \lg(p(x_i)) \left[\frac{\text{bit}}{\text{Ereignis}} \right] \quad (6.28)$$

Im Falle der Volltonfläche darf der Informationsgehalt der Druckform $H = 0$ gesetzt werden, da deren Oberfläche wegen ihrer Genauigkeit keine unterscheidbaren Ereignisse erkennen läßt.

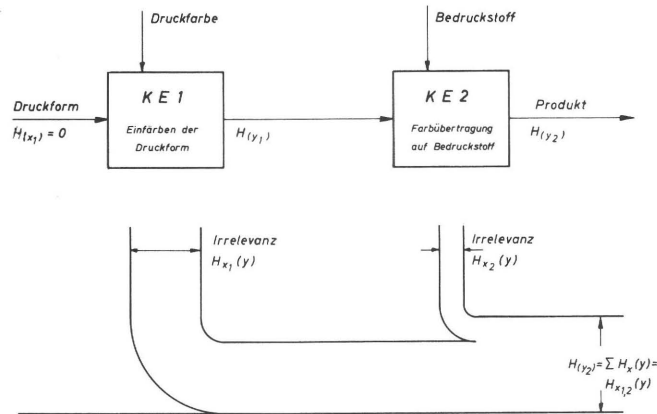


Bild 6.10: Vereinfachtes informationstheoretisches Ersatzschaltbild des Druckvorganges

Am Ende des Kanalelementes KE1 (nach der Druckformeneinfärbung) besitzen die druckenden Flächen im wesentlichen wegen der Rückwirkungen keinen Farbfilm konstanter Dicke, sondern ein Schichtdickenrelief, dem ein Dichterelief entspricht.

Bewertet man die unterscheidbaren Dichten dieses Reliefs als Ereignisse x_i und ermit-

telt man ihre Häufigkeit $p(x_i)$, so läßt sich für die eingefärbte Druckform ein Informationsgehalt $H(y_1) > 0$, der eine Irrelevanz ist, berechnen.

In der Druckzone läuft der Vorgang der Farbübertragung ebenfalls in unvollkommener Weise ab. Dabei entsteht, da die bei der Einfärbung der Druckform entstandene Irrelevanz als Information in das Kanalelement KE2 eintritt, sowohl Aequivokation als auch Irrelevanz. Die Differenz dieser beiden Größen wirkt sich als Informationsänderung $Hx_2(y)$ in der gedruckten Volltonfläche aus. Diese Größe kann sowohl positiv als auch negativ sein, je nach dem ob die Irrelevanz oder die Aequivokation überwiegt. Bei den üblichen Schichtdicken und den üblichen mechanischen Toleranzen von Druckform und Druckmaschine strebt sie gegen Null, da die vergleichsweise mikroskopischen Fehler im Gegensatz zu jenen, die aus Rückwirkungen entstanden sind, vom unbewaffneten Auge oder von einem üblichen Densitometer kaum mehr aufgelöst werden können, d.h. als Ereignisse x_i im wesentlichen nicht erkannt werden.

Die Irrelevanz $Hx_{1,2}(y)$ der gedruckten Volltonfläche ist also näherungsweise gleich dem Anteil $Hx_1(y)$, der im wesentlichen als Folge der Rückwirkungen auftritt. Da diese Rückwirkungen auch den mit Hilfe des theoretischen Modells berechneten Schichtdickenverlauf bestimmen, entspricht auch die daraus ermittelte Irrelevanz mit guter Näherung der Irrelevanz der gedruckten Volltonfläche.

Da z.Z. die vom Auge auflösbaren Dichtetoleranzen auch noch nicht festgelegt sind, wird ersatzweise eine von der absoluten Dichte unabhängige Dichtetoleranz von ± 0.01 angenommen. Dieses Maß liegt bei den meisten Densitometern nahe an der Grenze ihres Auflösungsvermögens.

Diese konstante Dichtetoleranz wird vom Gesichtssinn empfindungsgemäß unterschiedlich beurteilt, so daß die gerechnete Irrelevanz nur in grober Näherung der empfindungsgemäßen entspricht. Damit kann die Irrelevanz mit Hilfe der Gleichung

$$Hx_{1,2}(y) = H(y_2) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \text{Id}(p(x_i)) \left[\frac{\text{bit}}{\text{Ereignis}} \right] \quad (6.29)$$

bestimmt werden.

Die berechneten Dichteverläufe liegen als diskrete Werte in einer der Schrittzahl des Formzylinders entsprechenden Unterteilung vor.

Die in den einzelnen Toleranzbändern liegenden Werte können deshalb sofort ausgezählt werden (Bild 6.11).

Danach kann nach Wolf [62] der Gütegrad q_i zur absoluten Beurteilung des Dichteverlaufes bestimmt werden.

$$q_i = \frac{S_0}{S_0 + H(y_2)} \quad (6.30)$$

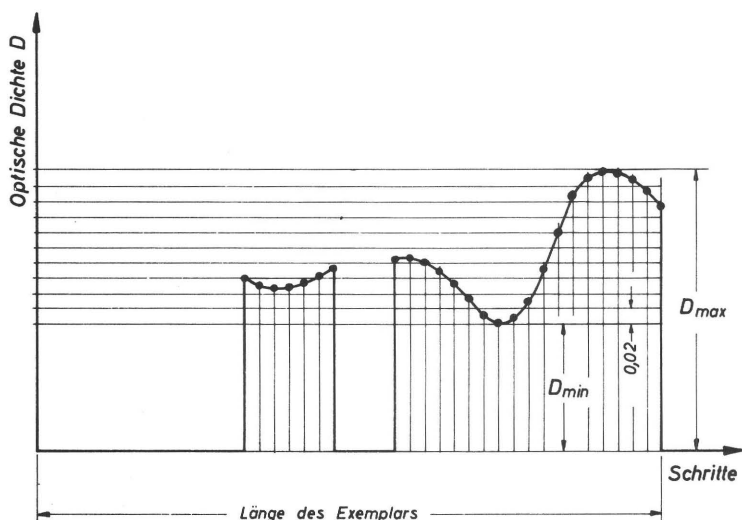


Bild 6.11: Dichteverlauf mit Toleranzbändern

Die Größe S_0 ist frei wählbar und wurde zu $S_0 = 1$ angenommen. Der Informationsgehalt sowie der Gütegrad werden vom Unterprogramm RE0003 gebildet (S.X).

Die Genauigkeit der Bestimmung der Häufigkeitsverteilung eines diskret vorgegebenen Dichteverlaufes ist davon abhängig, wie eng die diskreten Dichtewerte beeinanderliegen. Um nachzuprüfen, wie eng die diskreten Dichtewerte etwa beeinanderliegen müssen, damit bei der Bestimmung des Informationsgehaltes und damit des Gütegrades nur geringe Fehler auftreten, wurde der in Bild 6.12 vorgegebene kontinuierliche Dichteverlauf bei unterschiedlicher Wertedichte betrachtet.

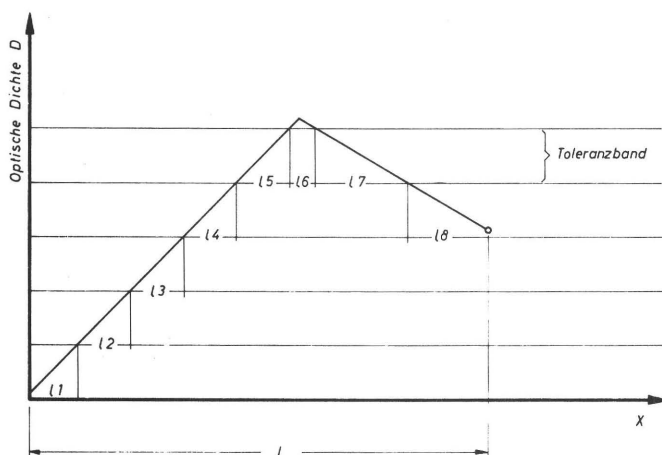


Bild 6.12: Dichteverlauf

Legen wir die Strecken l_1 bis l_8 der Bestimmung der Häufigkeitsverteilung zugrunde, so ergibt sich der Informationsgehalt bei kontinuierlicher Betrachtungsweise zu:

$$\begin{aligned}
 H_{x_{1,2}}(y) = - & \left[\frac{l_1}{l} \cdot \text{ld} \left(\frac{l_1}{l} \right) + \frac{l_2}{l} \cdot \text{ld} \left(\frac{l_2}{l} \right) + \frac{l_3}{l} \cdot \text{ld} \left(\frac{l_3}{l} \right) + \frac{l_4+l_8}{l} \cdot \text{ld} \left(\frac{l_4+l_8}{l} \right) \right. \\
 & \left. + \frac{l_5+l_7}{l} \cdot \text{ld} \left(\frac{l_5+l_7}{l} \right) + \frac{l_6}{l} \cdot \text{ld} \left(\frac{l_6}{l} \right) \right]
 \end{aligned}
 \tag{6.31}$$

Wird der in Bild 6.12 dargestellte Dichteverlauf diskretisiert, so sind nicht die Strecken l_1 bis l_8 , sondern die Zahl der diskreten Dichtewerte innerhalb dieser Strecken zu bewerten. Je enger diese beieinanderliegen, desto geringer wird die Abweichung des so gewonnenen Informationsgehaltes zu dem nach Gleichung (6.31) ermittelten.

Die Ergebnisse der Fehlerabschätzung sind in Tabelle 6.1 zusammengefaßt.

	Bewertung der Strecken l_i	20 Punkte	40 Punkte	100 Punkte
Informationsgehalt $H_{x_{1,2}}(y)$	2,29673	2,28552	2,26993	2,29390
Gütegrad q_i $q_i = \frac{1}{1 + H_{x_{1,2}}(y)}$	0,30330	0,30437	0,30582	0,30359
Prozentualer Fehler des Informationsgehaltes	0	- 0,48803	1,16674	0,12320
Prozentualer Fehler des Gütegrades	0	0,34286	0,82089	0,008572

Tabelle 6.1

Diese Abschätzung zeigt, daß man mit sehr kleinen Abweichungen des Informationsgehaltes bzw. des Gütegrades rechnen kann, wenn man die Auswertung für nur 20 Punkte vornimmt. Das Unterprogramm RE0003 rechnet mit 64 diskreten Werten, so daß anzunehmen ist, daß die auftretenden Fehler vernachlässigt werden können.

7. Farbtransportuntersuchungen an der Modellmaschine

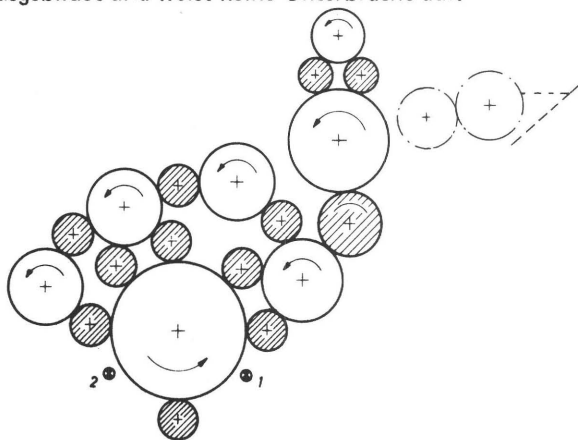
Die experimentellen Untersuchungen an der Modellmaschine, welche vorwiegend zur Überprüfung der theoretischen Resultate dienten, wurden für vier ausgesuchte Walzenkombinationen durchgeführt. Dabei wurden an der laufenden Maschine die Farbschichtdicken vor (Meßwertgeber 2) und nach (Meßwertgeber 1) der Drucklinie gemessen.

7.1 Eichung der photoelektronischen Meßwertgeber

Da die Gestalt der Eichkurve sehr stark von der Meßstrahlgeometrie sowie auch von der Speisespannung der Miniaturglühlampen abhängt und außerdem die Phototransistoren in ihren elektrischen Charakteristiken starke Streuungen aufweisen, muß für jeden photoelektrischen Meßwertgeber zunächst die nichtlineare Eichkurve ermittelt werden. Diese Eichkurven können nacheinander aus Einzeleichungen gewonnen werden.

Diese Methode ist äußerst zeitraubend und bedarf umfangreicher Rüstzeiten für die Farbwerkeinstellung. Durch eine Gruppeneichung mehrerer Geber kann die Ermittlung der Eichkurven jedoch wesentlich rascher durchgeführt werden.

Die Gruppeneichung wird folgendermaßen durchgeführt. Zunächst wird die zur Untersuchung gelangende Walzenkombination in der Modellmaschine eingestellt. Danach wird der Druckzylinder entfernt und an dessen Stelle eine zusätzliche Gummiwalze mit dem Formzylinder in Kontakt gebracht, um so die Farbspaltung nach der Druckzone nachzubilden. In Bild 7.1 ist die Walzenkombination 4 mit der Position der photoelektronischen Meßwertgeber sowie der zusätzlichen Gummiwalze dargestellt. Die Heberwalze ist während des Eichvorganges abgestellt. Die Druckform ist als Vollzylinder ausgebildet und weist keine Unterbrüche auf.



Anordnung 1

Bild 7.1: Schema der Walzenkombination 4

Die Eichmessungen sowie die Farbtransportmessungen wurden selbstverständlich bei der gleichen Maschinengeschwindigkeit durchgeführt.

Um die thermisch bedingte Drift der gesamten elektronischen Anlage auszuschalten, werden die elektronischen Geräte sowie die photoelektronischen Meßwertgeber und die Thermostatisierungskammer ca. zwei Stunden vor Versuchsbeginn eingeschaltet. Damit nun auch innerhalb des Farbwerkes keine großen Temperatursprünge während der Eichung auftreten, wird der Modellmaschine etwa die gleiche Vorlaufzeit zugebilligt. Die Zeitspanne von 2 Stunden reicht dazu aus, wie orientierende Messungen gezeigt haben, den thermischen Beharrungszustand zu erreichen. Das Farbwerk ist jedoch während der Vorlaufzeit völlig farbfrei.

Nach dieser Vorlaufzeit wird die Maschine gestoppt und man gibt mittels einer Farbspritze auf eine beliebige Walze des Farbwerkes eine genau abgemessene Menge Farbe auf. Danach wird die Modellmaschine wieder angestellt, so daß sich die aufgebrachte Farbmenge auf allen Walzen verteilen kann. Die Gesamtfarbmenge bleibt erhalten, da weder Farbe zu- noch abgeführt wird. Nach einer Einlaufzeit von ca. 10 min. zeigen die von den photoelektronischen Meßwertgebern gelieferten Signale eine hohe Konstanz, d.h. die aufgegebene Farbe hat sich auf der gesamten benetzbaren Oberfläche im Farbwerk verteilt. Es liegt also ein mengenmäßiger Beharrungszustand vor.

Die Tatsache einer praktisch genau hälftigen Spaltung erlaubt dann eine rasche Bestimmung der Farbschichtdicke auf den Walzen. Danach wird die Ausgangsspannung der zu eichenden photoelektronischen Meßwertgeber nach dem ersten Summierer und vor dem Eintritt in den Diodenfunktionsgenerator (Bild 3.25) mittels Digitalvoltmeter sowie Lichtstrahloszillographen gemessen und registriert.

Nach Ermittlung der elektrischen Spannungen wird die Maschine abermals gestoppt zum Zwecke erneuter Farbzugabe. Danach erfolgt wieder nach einer angemessenen Laufzeit (ca. 10 min) die Registrierung der sich ergebenden elektrischen Spannungen. Der Eichvorgang wird in diesem Zyklus fortgeführt, bis man bei einer Schichtdicke von ca. $15 \div 20 \mu\text{m}$ angelangt ist.

Man erhält nach diesem Verfahren die nichtlinearen Eichkurven der photoelektronischen Meßwertgeber (Bild 7.2).

Nach Durchführung mehrerer Eichungen werden die gemittelten Eichkurven zur Programmierung der Diodenfunktionsgeneratoren benutzt.

Danach wird der Eichvorgang wiederholt, jedoch mit dem Unterschied, daß anstelle der nichtlinearen elektrischen Signale die bereits linearisierten Signale nach Verlassen des Diodenfunktionsgenerators registriert werden. Unter der Voraussetzung, daß diese richtig eingestellt wurden, erhält man dann bis zu einem Schichtdickengrenzbereich von mindestens $6 \mu\text{m}$ elektrische Signale, welche Proportionalität mit der Schichtdicke besitzen (Bild 7.3).

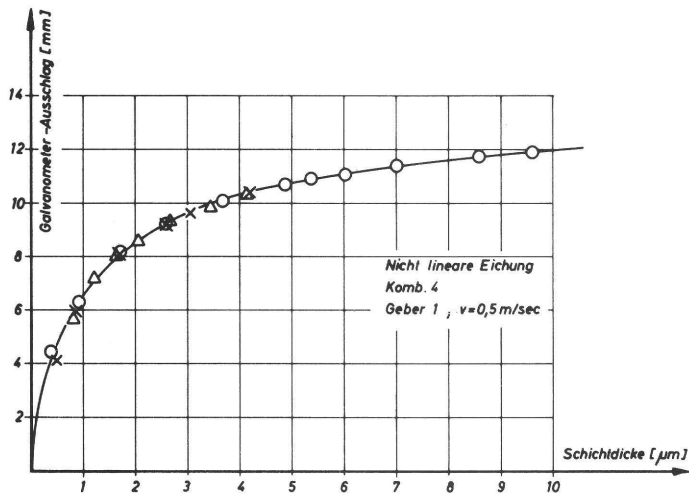


Bild 7.2: Nichtlineare Eichkurve des photoelektronischen Meßwertgebers 1

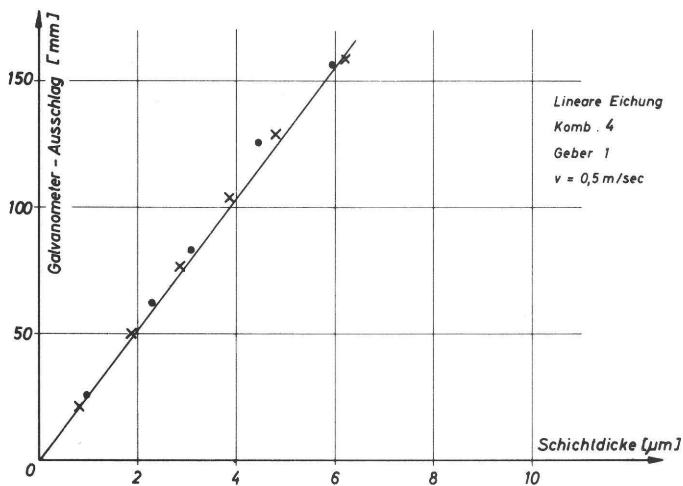


Bild 7.3: Linearisierte Eichkurve des photoelektronischen Meßwertgebers 1 aus zwei Meßreihen

Um nachzuprüfen, ob die Eichung uneingeschränkte Gültigkeit auch für andere Walzenanordnungen besitzt, außer für die Anordnung 1 der Kombination 4, wurden die Eichkurven noch für zwei zusätzliche Anordnungen (Bild 7.4) ermittelt.

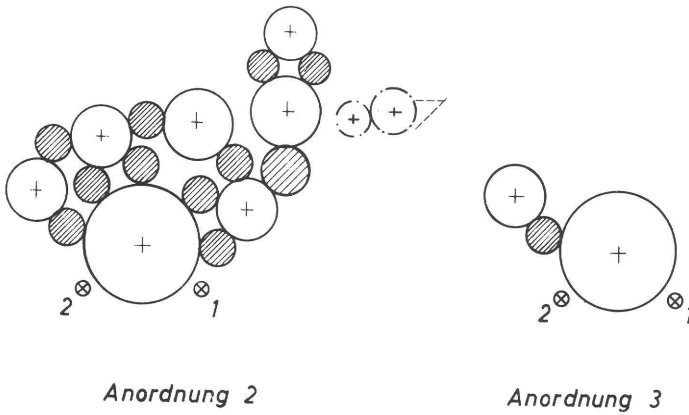


Bild 7.4: Schemata für die Eichung zusätzlich verwendeter Walzenanordnungen 2 und 3

Würde sich der Farbfilm zwischen den Walzen nicht hälftig aufteilen, so müßten zwangsläufig drei verschiedene Eichkurven sich ergeben. Die Tatsache, daß alle drei Eichkurven Identität besitzen (Bild 7.5), erweist indirekt die Richtigkeit der Annahme der hälftigen Spaltung.

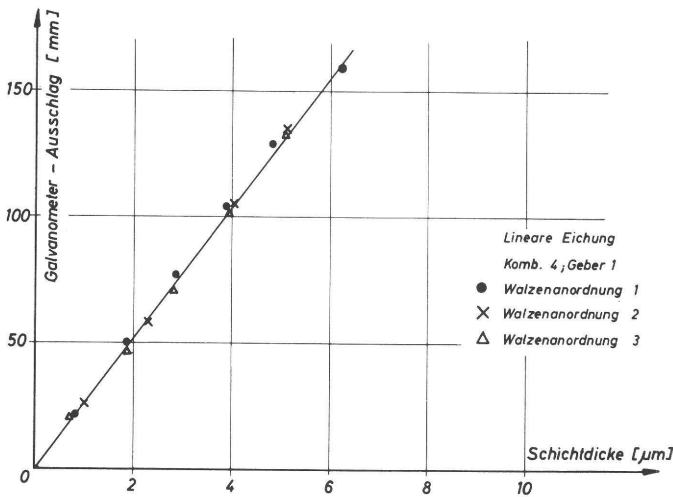


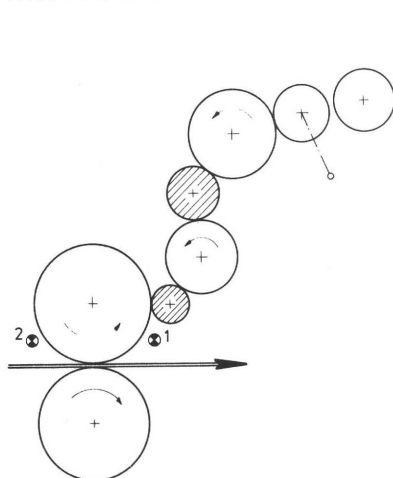
Bild 7.5: Linearisierte Eichkurve für die verschiedenen Walzenanordnungen

Auf die bildliche Wiedergabe aller Eichkurven wurde aus Platzgründen verzichtet. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die Größe der Meßfehler mit wachsen-

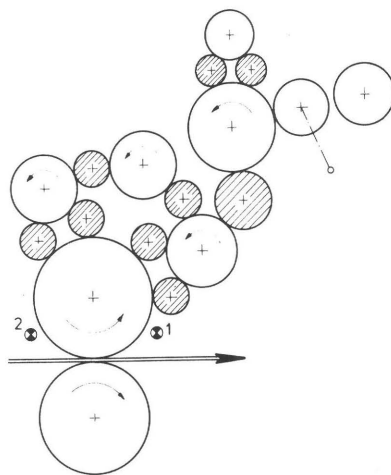
der Schichtdicke steigt, was auch bei den theoretischen Überlegungen in Kapitel 3.3.5 schon zum Ausdruck gekommen ist. Der maximale Fehler war bei der Eichung $< 5\%$.

7.2 Farbtransportuntersuchungen

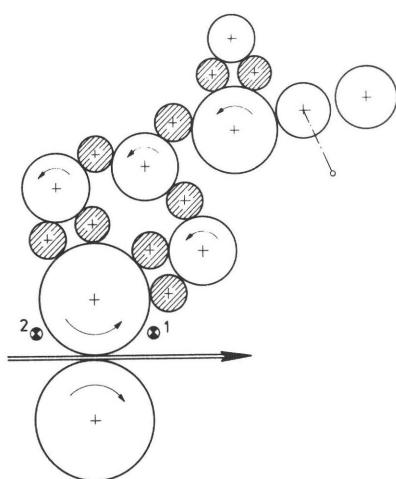
Zur Überprüfung des theoretischen Modells für die Berechnung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken wurden experimentelle und theoretische Untersuchungen für vier verschiedene Walzenkombinationen durchgeführt (Bild 7.6).



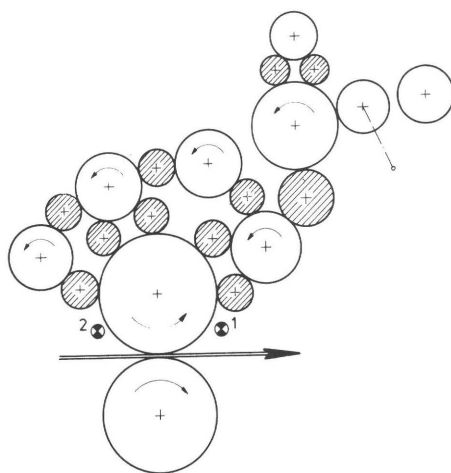
Kombination 1



Kombination 2



Kombination 3



Kombination 4

Bild 7.6: Schemata der untersuchten Walzenkombinationen

Die Walzenkombinationen 2, 3 und 4 gelten als praxisnah, während die Walzenkombination 1, die eine wesentlich geringere Zahl von Walzen aufweist, kaum in einer Praxismaschine gefunden werden kann, da sie — wie später ersichtlich sein wird — keine günstigen Eigenschaften aufweist.

Die Systempläne sowie die Quellenprogramme dieser Walzenkombinationen befinden sich im Anhang.

Die Anordnung der photoelektronischen Meßwertgeber ist in Bild 7.6 ebenfalls ersichtlich.

Der photoelektronische Meßwertgeber 2 dient der Ermittlung der örtlichen Farbschichtdicke auf dem Formzylinder vor der Farbabgabe an den Bedruckstoff (Farbangebot m) und der photoelektronischen Meßwertgeber 1 mißt die örtliche Farbschichtdicke, welche auf der Druckform nach der Farbübertragung verbleibt ($m-p$). Da man den echten zeitlichen Verlauf dieser beiden Meßgrößen erhält, kann man durch Differenzbildung das auf den Bedruckstoff übertragene Schichtdickenrelief bestimmen. Dabei muß die Phasenverschiebung zwischen den Meßwertgebern berücksichtigt werden. Versuche, welche vorerst nur der qualitativen Überprüfung der theoretischen Überlegungen dienten [55, 56, 63], zeigten bereits eine ausgezeichnete Übereinstimmung.

Bei diesen qualitativen Überprüfungen genügte es vollauf, den rechnerisch ermittelten Schichtdickenverlauf mit dem experimentell ermittelten Dichteverlauf zu vergleichen. Am anschaulichsten wird jedoch der Vergleich, wenn man das rechnerisch gewonnene Schichtdickenrelief und den Verlauf der optischen Dichte direkt neben die photographische Reproduktion des bedruckten Bogens legt. Die Reproduktion wurde unter Zuhilfenahme eines Farbfilters sowie eines extrasteilen Filmes gewonnen, so daß die Dichteunterschiede erheblich verstärkt erscheinen.

Als Beispiel sei das Ergebnis der Walzenkombination 3 (Bild 7.7) angeführt.

Der in diesem Bild dargestellte Verlauf der rechnerisch ermittelten Schichtdicke sowie der experimentell gewonnenen optischen Dichte zeigen einen prinzipiell übereinstimmenden Verlauf. Die Maxima befinden sich an der gleichen Stelle. Ebenso ergibt sich eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit dem bedruckten Bogen.

Für den quantitativen Vergleich des theoretisch und experimentell gewonnenen Schichtdickenverlaufes benötigt man die Farbübertragungskennwerte a , α und w_0 . Sie werden aus der mittels eines Auslaufversuches bestimmten Farbübertragungskurve z.B. mit Hilfe des Farbübertragungsatlasses gewonnen [10, 51]. Das Bild 7.8 zeigt beispielsweise eine derartige Kurve für ein gestrichenes holzfreies Papier. Für jeden Vergleich wurden die Kennwerte neu bestimmt und in das Rechenprogramm zur Bestimmung des Schichtdickenverlaufes auf dem Bedruckstoff eingegeben.

Reproduktion des bedruckten Bogens

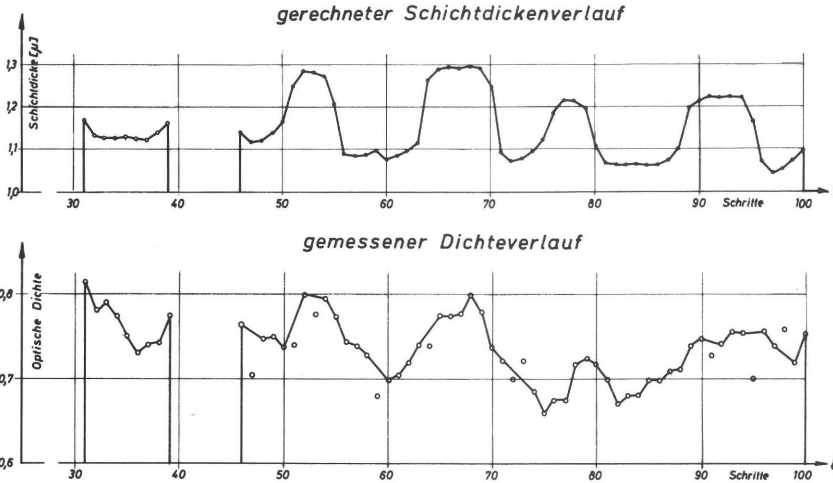


Bild 7.7: Darstellung des theoretisch ermittelten Schichtdickenverlaufes, des Verlaufes der gemessenen optischen Dichte und der photographischen Reproduktion des Druckexemplares für die Walzenkombination 3

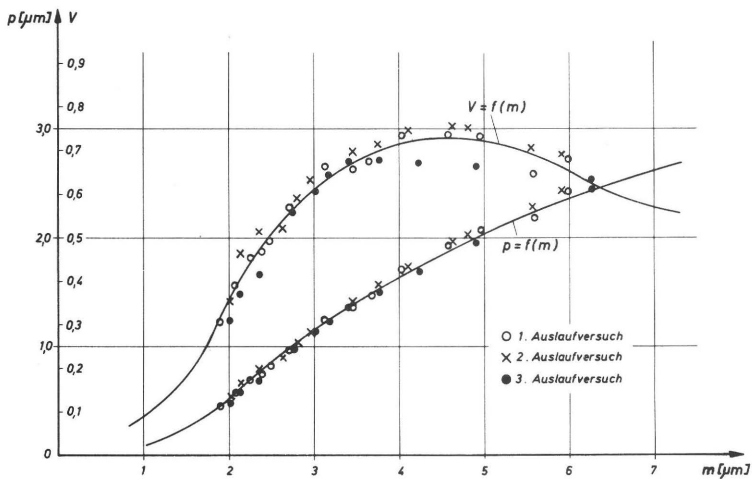


Bild 7.8: Mittels Auslaufversuchen gewonnene Farbübertragungskurve

Das Schichtdickenrelief längs der Druckprobe wurde sowohl mit der in Kapitel 3.4 beschriebenen Meßapparatur experimentell bestimmt, als auch durch Differenzbildung der Meßwerte der Geber 2 und 1. Die Farbtransportuntersuchungen wurden mit drei unterschiedlichen Druckformen für die Walzenkombinationen 1, 2, 3 und 4 durchgeführt. Die druckenden Flächen (in Bild 7.9 schraffiert) der Druckformen sind ungerasterte Volltonflächen. Die Druckformen, bestehend aus Stahl, wurden vor dem Einfräsen der nichtdruckenden Flächen geschliffen und poliert.

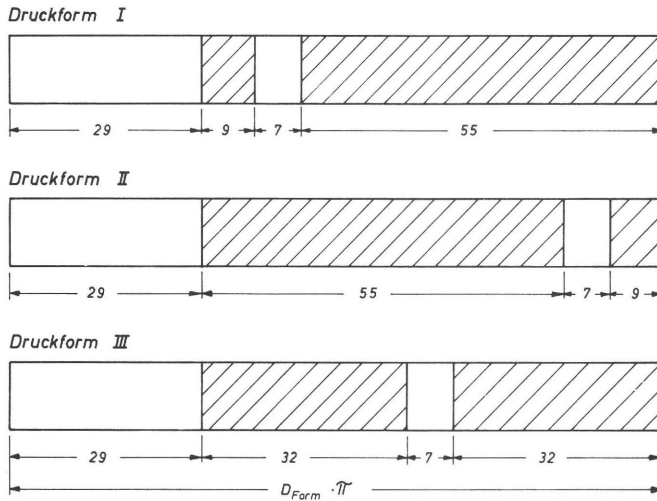


Bild 7.9: Schemata der abgewickelten Druckformen

Die Resultate der theoretischen und experimentellen Untersuchungen für die Walzenkombination 1 sind in den Bildern 7.10, 7.11 und 7.12 dargestellt. Die theoretisch ermittelten Schichtdickenwerte wurden durch Punkte dargestellt. Die gemessenen und die gerechneten Schichtdickenverläufe besitzen gute Übereinstimmung. Die Schichtdickenmaxima befinden sich am gleichen Ort. Doch zeigt sich, daß gegen Ende des bedruckten Bogens die Abweichungen zunehmen. Die experimentell gefundenen Schichtdickenverläufe auf dem Bedruckstoff zeigen ebenfalls eine gute Übereinstimmung.

Zur Abschätzung der Übereinstimmung rechnerischer und experimenteller Werte soll eine Fehlerbetrachtung durchgeführt werden.

Die mittlere Abweichung des gerechneten Schichtdickenverlaufs zum gemessenen Schichtdickenverlauf erhält man durch Summation aller auftretenden Einzelfehler. Der gerechnete Schichtdickenverlauf ist in diskreter Form gegeben. Man muß somit an diesen Stellen die Einzelfehler bilden. Da vereinbarungsgemäß nur die farbführenden Stellen bewertet werden, ergibt sich die mittlere Abweichung zu:

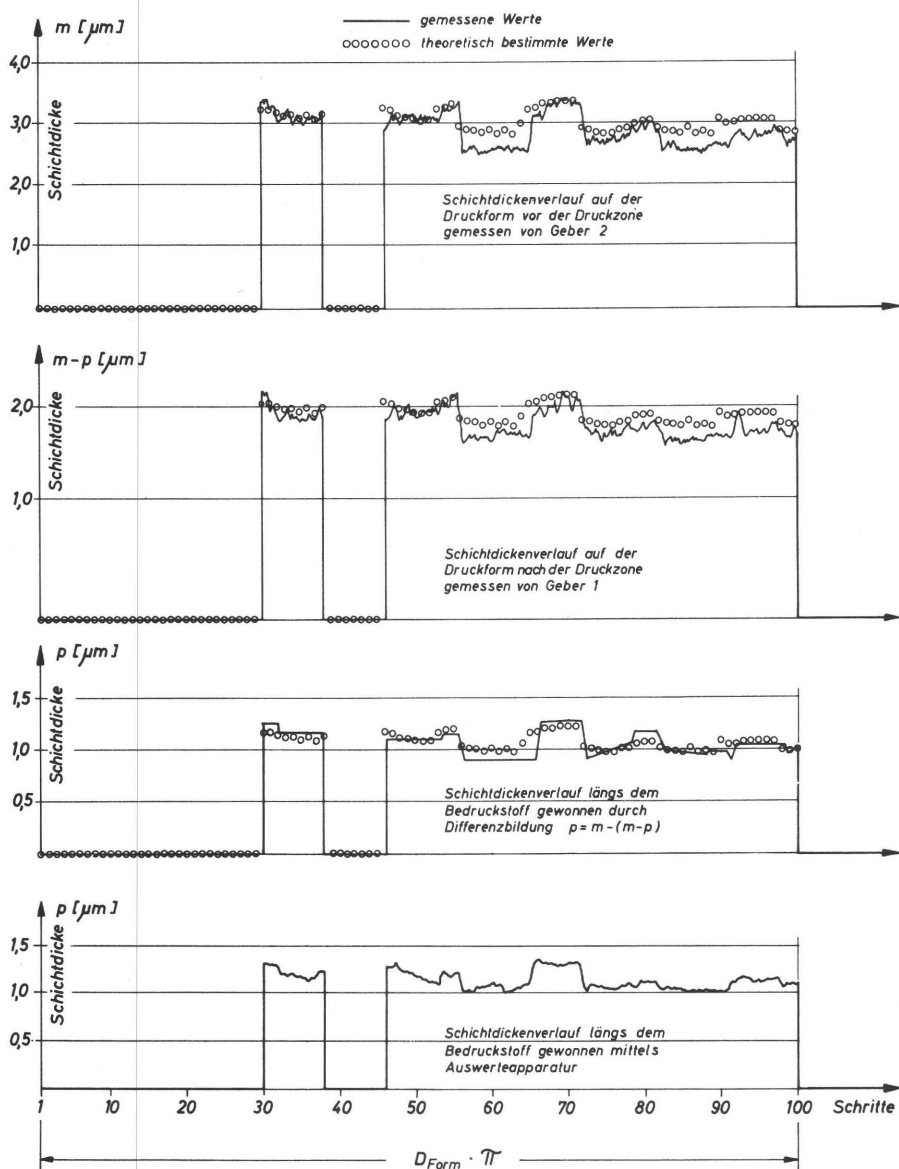


Bild 7.10: Gemessene und gerechnete Schichtdickenverläufe der Walzenkombination 1 bei Verwendung der Druckform I

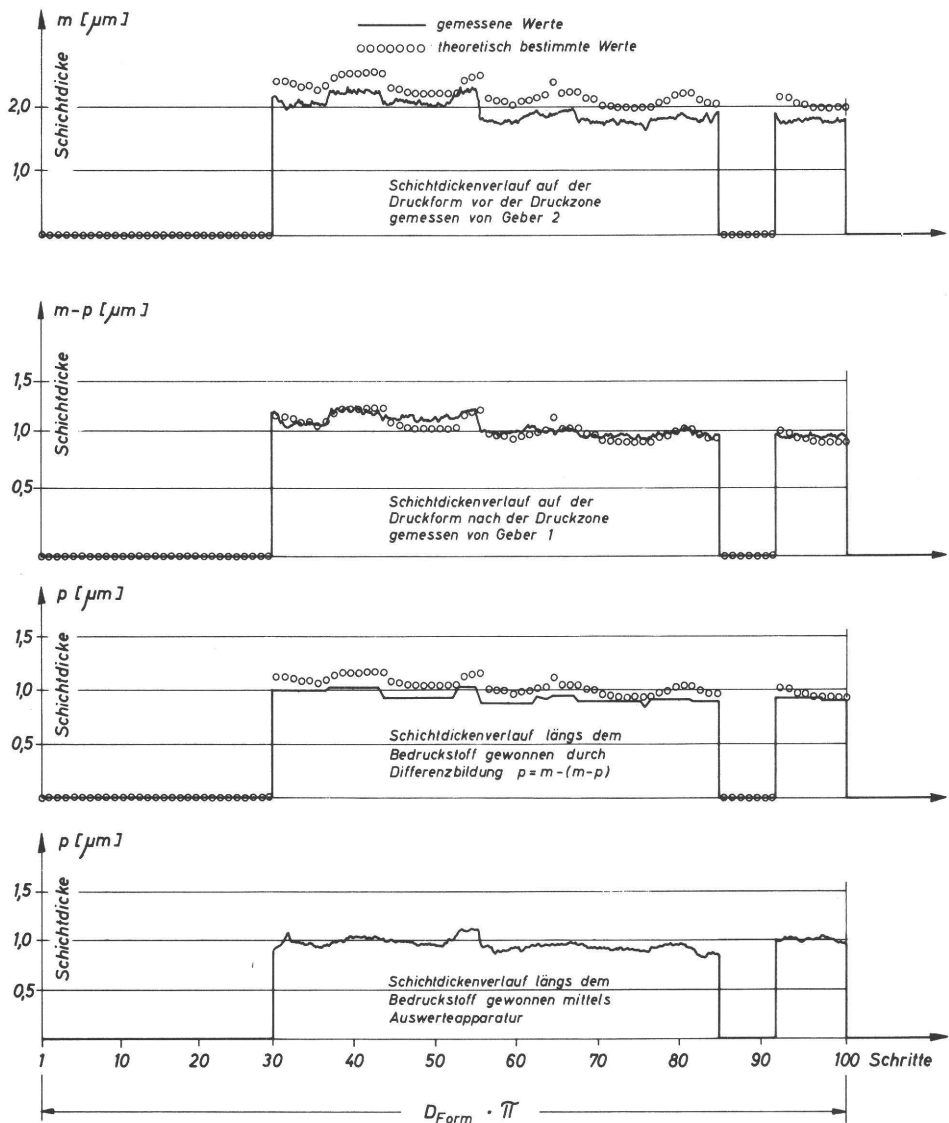


Bild 7.11: Gemessene und gerechnete Schichtdickenverläufe der Walzenkombination 1 bei Verwendung der Druckform II

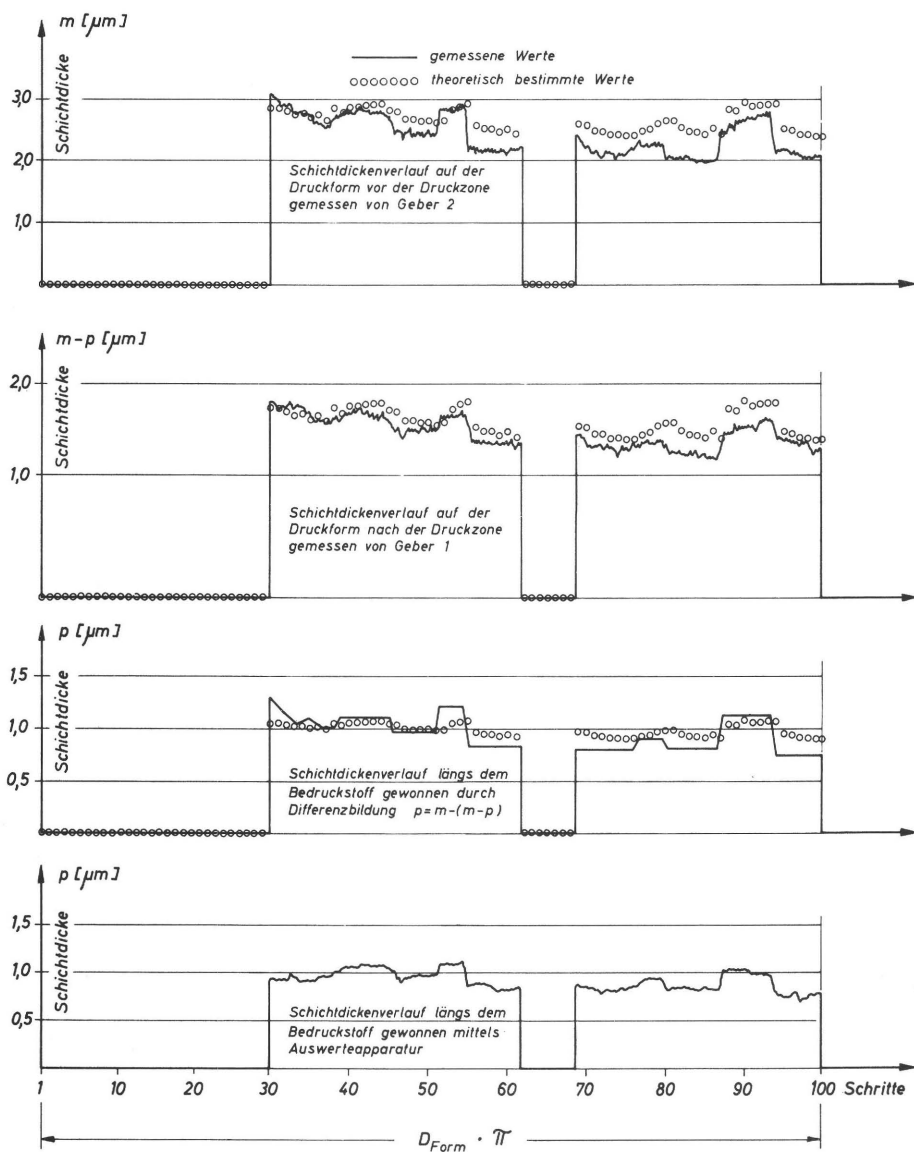


Bild 7.12: Gemessene und gerechnete Schichtdickenverläufe der Walzenkombination 1 bei Verwendung der Druckform III

$$f = \left[\frac{1}{l_2 - l_1} \sum_{i=1}^{l_2} \frac{[Sr(i) - Sg(i)]}{Sr(i)} \dots + \frac{1}{l_n - l_m} \sum_{i=m}^{l_n} \frac{[Sr(i) - Sg(i)]}{Sr(i)} + \frac{1}{l_D - l_{n+1}} \sum_{i=l_{n+1}}^{l_D} \frac{[Sr(i) - Sg(i)]}{Sr(i)} \right] \cdot 100 \text{ [\%]} \tag{7.1}$$

Hierbei ist $Sr(i)$ der rechnerische örtliche Schichtdickenwert und $Sg(i)$ der gemessene örtliche Schichtdickenwert und die Größen $l_2, l_1, \text{ usw.}$ (siehe Bild 6.8) sind die Begrenzungen der druckenden Flächen.

Mit der Gleichung (7.1) wurden die Werte $f(m), f(m-p)$ und $f(p_1)$ gebildet. Es sind:

- $f(m)$ die mittlere Abweichung der Schichtdickenverläufe auf der Druckform vor der Druckzone
- $f(m-p)$ die mittlere Abweichung der Schichtdickenverläufe auf der Druckform nach der Druckzone
- $f(p_1)$ die mittlere Abweichung der Schichtdickenverläufe auf dem Bedruckstoff

Ebenfalls wurde die mittlere Abweichung $f(p_2)$ zwischen den beiden experimentell bestimmten Schichtdickenverläufen auf dem Bedruckstoff bestimmt. Jedoch wird hierbei anstelle von $Sr(i)$ diejenige örtliche Schichtdicke eingesetzt, welche durch Differenzbildung – Farbangebot m minus auf der Druckform verbleibende Farbe $m-p$ – bestimmt wurde. Anstelle $Sg(i)$ wird die zugeordnete Schichtdicke, welche die Auswertearratur aufgrund des Dichteverlaufes liefert, eingesetzt.

Eine Zusammenstellung der mittleren Abweichungen befindet sich in Tabelle 7.1.

Kombination 1			
Mittlere Abweichungen in [%]			
	Druckform I	Druckform II	Druckform III
$f(m)$	5,08	12,78	9,98
$f(m-p)$	8,21	10,93	12,15
$f(p_1)$	7,10	14,51	11,88
$f(p_2)$	8,54	10,92	8,39

Tabelle 7.1

Bei den folgenden Untersuchungen gelangten wieder die in Bild 7.9 dargestellten Druckformen zur Anwendung. Die untersuchten Walzenkombinationen 2, 3 und 4 entsprechen in ihrem Aufbau der Praxis.

In Bild 7.13 sind die theoretisch und experimentell aufgrund der Dichteverteilung auf dem bedruckten Bogen gefundenen Schichtdickenverläufe längs dem Bedruckstoff für die Walzenkombination 2 dargestellt.

In Bild 7.14 sind die Resultate der Walzenkombination 3 und in Bild 7.15 die Resultate der Walzenkombination 4 dargestellt.

Bei der Gegenüberstellung wird ersichtlich, daß die theoretisch ermittelten und die gemessenen Schichtdickenverläufe gute Übereinstimmung besitzen (Tabelle 7.2).

	Mittlere Abweichungen in [%]		
	Kombination 2	Kombination 3	Kombination 4
Druckform I	4,02	6,59	3,13
Druckform II	6,42	2,49	3,69
Druckform III	3,64	3,62	4,40

Tabelle 7.2

Zu den Untersuchungen an der Walzenkombination 1 kann gesagt werden, daß die mittleren Abweichungen zwischen ~ 5 % und maximal 14,51 % liegen. Dies läßt sich zum Teil darauf zurückführen, daß gegen das Ende des Druckbogens die Abweichungen zunehmen. Die mittleren Abweichungen, die sich bei den Untersuchungen an den Walzenkombinationen 2, 3 und 4 ergaben, lagen zwischen 2,49 % und 6,42 %.

Ferner ergeben sich örtlich hohe Abweichungen, wenn die Schichtdickenmaxima eine geringe Phasenverschiebung aufweisen. Diese Phasenverschiebungen lassen sich auf den in Wirklichkeit vorhandenen Schlupf zurückführen, welcher im theoretischen Modell keine Berücksichtigung erfährt. Es erweist sich, daß die theoretisch ermittelten Schichtdickenverläufe meist einen glatteren Verlauf als die gemessenen Schichtdickenverläufe aufweisen. Das läßt sich darauf zurückführen, daß bei der Farbübertragung in der Druckzone zusätzliche Übertragungsfehler in Form der vom Bedruckstoff abhängigen Deckung, welche stochastischer Natur sind, auftreten. Da das theoretische Modell jedoch nur die digitale, deterministische Simulation durchzuführen gestattet, können diese zusätzlichen stochastischen Übertragungsfehler nicht zum Ansatz gebracht werden, wie bereits in Kap. 6.42 dargelegt wurde.

So läßt es sich auch erklären, daß die Kennziffern gemäß Kap. 6.3 der gerechneten und der gemessenen Schichtdickenverläufe teilweise stark voneinander abweichen. Es zeigt sich, daß die gemessenen Schichtdickenverläufe die ungünstigsten Kennziffern und geringeren Gütegrade liefern (Tabelle 7.3).

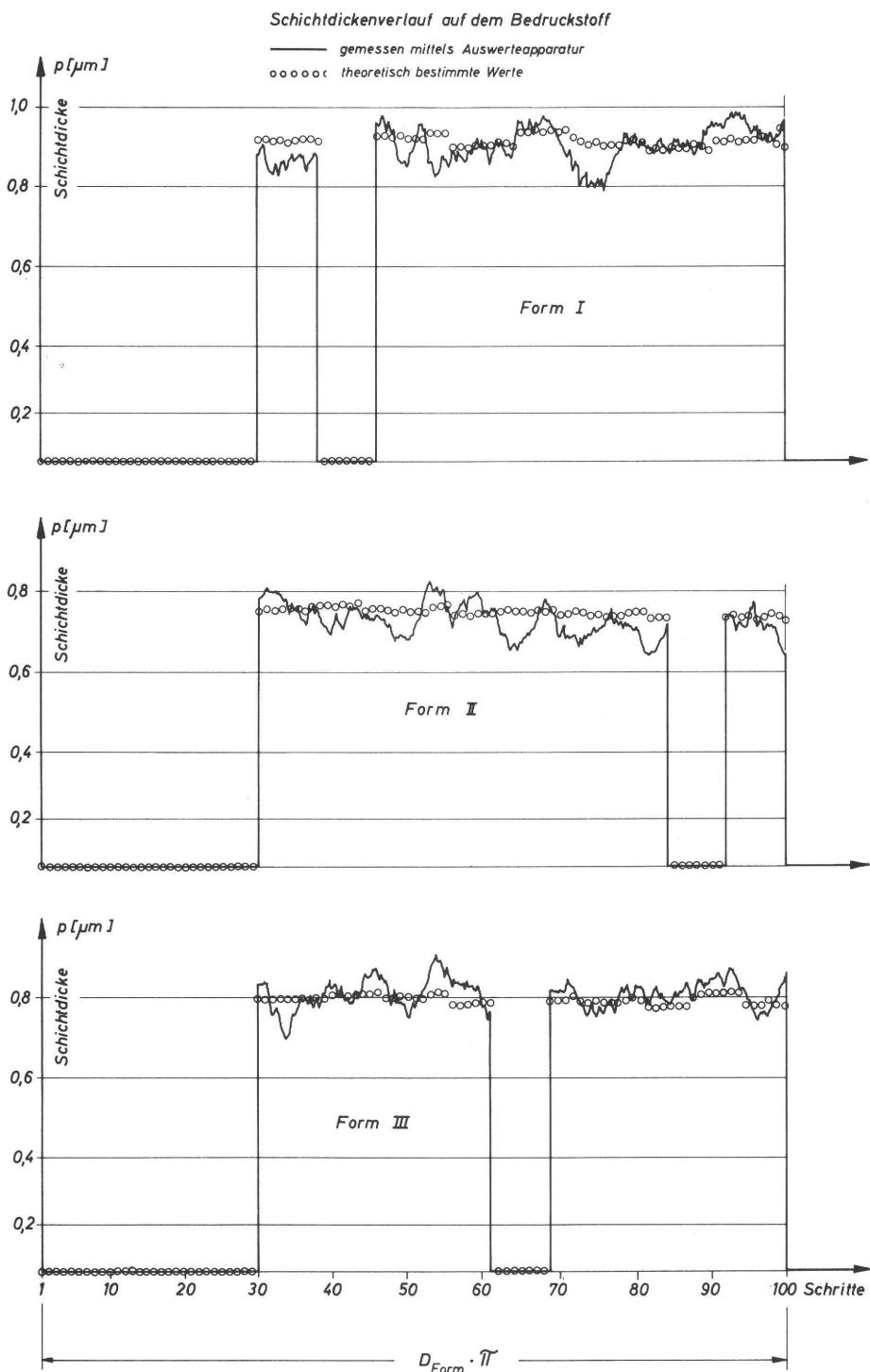


Bild 7.13: Theoretisch und experimentell ermittelte Schichtdickenverläufe längs dem Bedruckstoff für die Walzenkombination 2

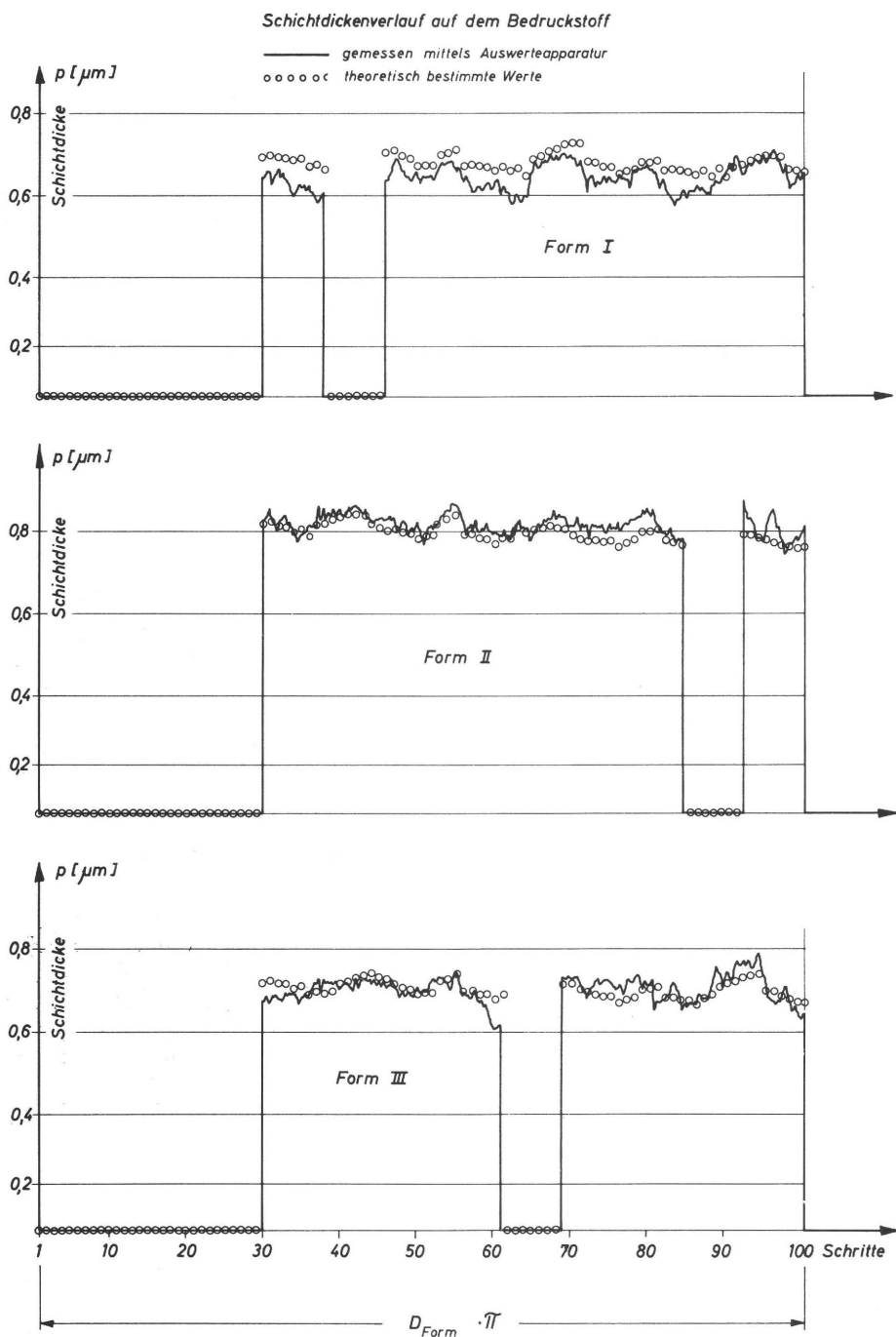


Bild 7.14: Theoretisch und experimentell ermittelte Schichtdickenverläufe längs dem Bedruckstoff für die Walzenkombination 3

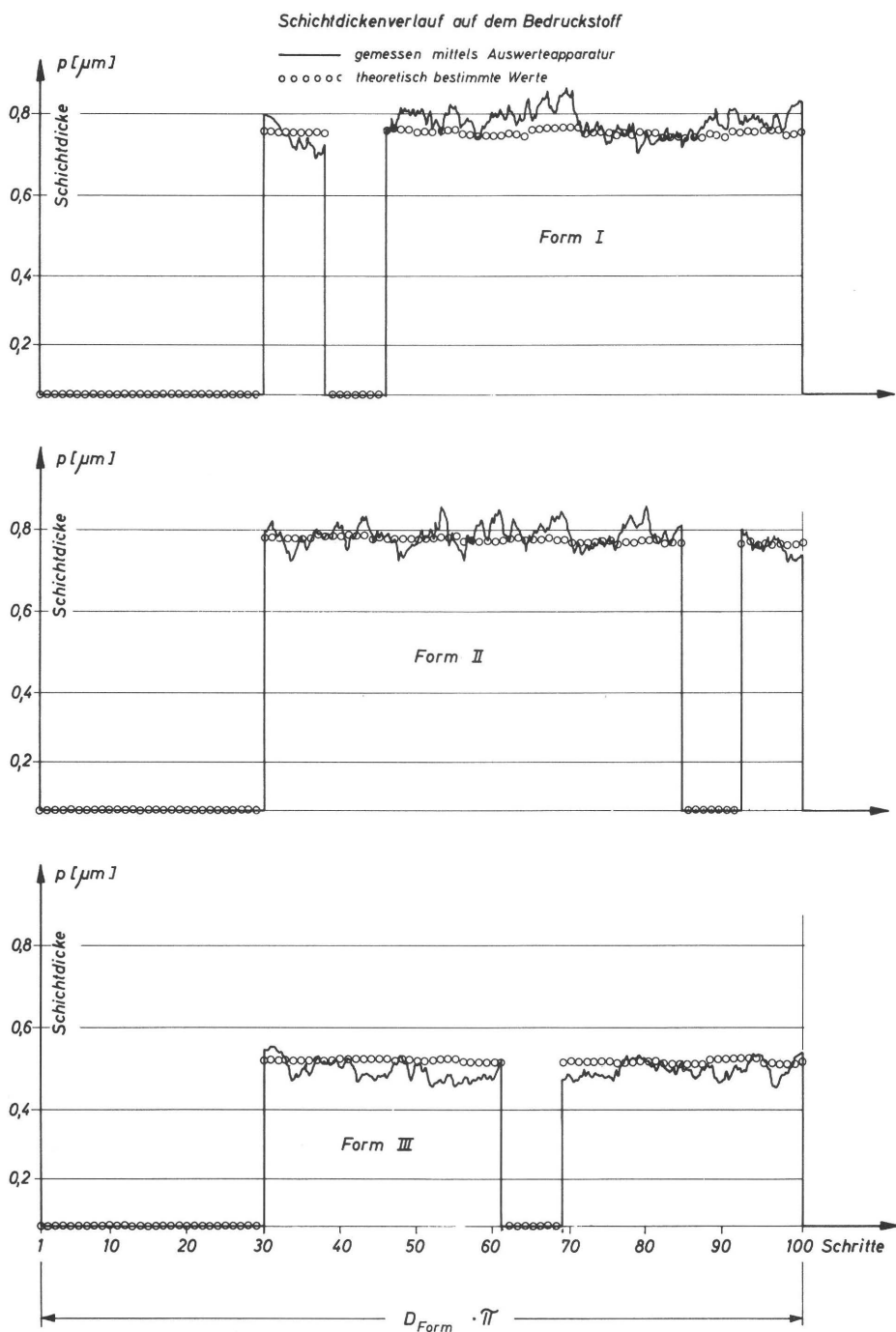


Bild 7.15: Theoretisch und experimentell ermittelte Schichtdickenverläufe längs dem Bedruckstoff für die Walzenkombination 4

Tabelle 7.3

		Kombination 1			Kombination 2			Kombination 3			Kombination 4		
		Druckform I	Druckform II	Druckform III	Druckform I	Druckform II	Druckform III	Druckform I	Druckform II	Druckform III	Druckform I	Druckform II	Druckform III
theoretische Werte	Maximalwert	1,2176	1,1729	1,0745	0,93514	0,80028	0,84851	0,74462	0,88554	0,75943	0,79106	0,81605	0,49598
	Minimalwert	0,96106	0,93389	0,89387	0,87169	0,74542	0,79694	0,64071	0,78054	0,66366	0,75801	0,78403	0,47760
	Ungleichförmigkeitsgrad	24,047	23,091	18,465	7,0369	7,1115	6,2528	15,1630	12,7140	13,5010	4,2667	3,9997	3,7733
	Arithmetischer Mittelwert	1,0668	1,0350	0,97819	0,90168	0,77146	0,82466	0,68529	0,82585	0,70939	0,77455	0,80044	0,48703
	Quadratischer Mittelwert	1,0696	1,0376	0,97989	0,90182	0,77158	0,82479	0,68576	0,82629	0,70983	0,77460	0,80048	0,48706
	Formfaktor E2/E1	1,0026	1,0025	1,0017	1,0002	1,0001	1,0002	1,0007	1,0005	1,0006	1,0001	1,0000	1,0001
	Durchschnittliche Abweichung	0,064762	0,061203	0,050913	0,012914	0,010667	0,012565	0,021163	0,022205	0,021298	0,0069468	0,0064948	0,0045565
	Varianz der Schichtdicke	0,0059834	0,0055057	0,0033788	0,00026233	0,00017698	0,00021752	0,00065062	0,00073620	0,00063586	0,000072553	0,000063088	0,000028639
	Standartabweichung	0,077353	0,074200	0,058128	0,016197	0,013304	0,014749	0,025507	0,027133	0,025216	0,0085178	0,0079428	0,0053516
	Schichtdickenbezogene Standartabweichung	0,072509	0,071690	0,059424	0,017963	0,017245	0,017885	0,037221	0,032855	0,035546	0,010997	0,0099230	0,010988
gemessene Werte	Gütegrad	0,2026	0,2062	0,2102	0,2926	0,3046	0,2650	0,2311	0,2411	0,2263	0,3639	0,3203	0,4021
	Maximalwert	1,3700	1,1400	1,2900	0,96500	0,82000	0,88500	0,71000	0,87000	0,76500	0,85000	0,94000	0,55000
	Minimalwert	0,8800	0,7200	0,6400	0,81000	0,64000	0,71500	0,57500	0,76000	0,60000	0,69500	0,71500	0,45500
	Ungleichförmigkeitsgrad	45,148	47,324	68,954	17,2270	24,8030	21,1230	21,0600	13,5330	23,7140	20,1050	28,7550	19,1350
	Arithmetischer Mittelwert	1,0853	0,88750	0,94266	0,89977	0,72572	0,80483	0,64080	0,81284	0,69580	0,77094	0,78247	0,49648
	Quadratischer Mittelwert	1,0924	0,89351	0,95805	0,90081	0,72690	0,80567	0,64150	0,81321	0,69656	0,77169	0,78339	0,49713
	Formfaktor E2/E1	1,0065	1,0068	1,0163	1,0012	1,0016	1,0016	1,0011	1,0005	1,0011	1,0010	1,0012	1,0013
	Durchschnittliche Abweichung	0,10342	0,090703	0,15157	0,036052	0,03844	0,030480	0,024171	0,019428	0,025728	0,027842	0,026507	0,021873
	Varianz der Schichtdicke	0,015667	0,010867	0,029731	0,0019178	0,0017445	0,0013800	0,00091893	0,00060709	0,0010775	0,0011816	0,0014710	0,00065213
	Standartabweichung	0,12517	0,10424	0,17243	0,043793	0,041767	0,037149	0,030314	0,024639	0,032825	0,034375	0,038354	0,02553
	Schichtdickenbezogene Standartabweichung	0,11533	0,11746	0,18292	0,048671	0,57553	0,046157	0,047306	0,030312	0,047177	0,044589	0,049016	0,51435
	Gütegrad	0,1868	0,1772	0,1619	0,2293	0,2279	0,2105	0,2320	0,2621	0,2244	0,2141	0,2219	0,2471

Insgesamt kann aber festgestellt werden, daß die rechnerischen und die experimentellen Schichtdickenverläufe eine gute quantitative Übereinstimmung aufweisen. Damit ist die Richtigkeit der theoretischen Überlegungen durch experimentelle Untersuchungen nachgewiesen worden.

8. Farbtransportuntersuchungen an einer Praxismaschine

Obwohl es sich bei den in Kapitel 7.2 beschriebenen Walzenkombinationen um durchaus praxisnahe Farbwerktypen handelt, welche eine beachtliche Zahl von Walzen aufweisen, wurden Farbtransportuntersuchungen am Farbwerk einer kleinen Bogenoffsetmaschine (Walzenkombination 5) durchgeführt.

Das Schema der Walzenkombination 5 ist in Bild 8.1 dargestellt.

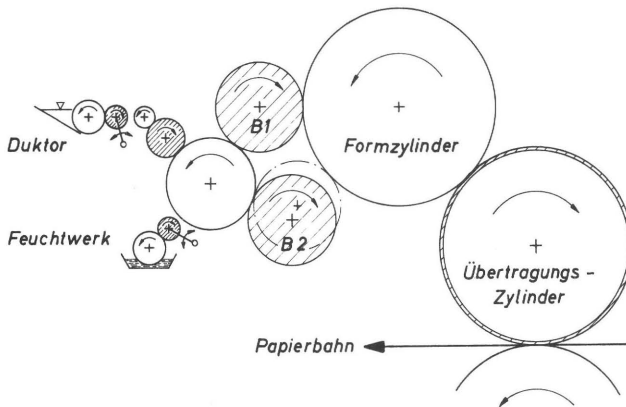


Bild 8.1: Schema der Walzenkombination 5

Diese Druckmaschine besaß als Praxismaschine selbstverständlich keine Meßapparatur zur Bestimmung der Farbschichtdicke auf dem Plattenzylinder. Aus diesem Grunde konnten die Kennzahlen der Farbübertragungsgleichung nicht bestimmt werden. Es wurden deshalb mittlere praxisübliche Werte für die Berechnung des Schichtdickenverlaufes verwendet.

Deshalb konnte nur ein qualitativer Vergleich mit dem theoretisch gewonnenen Schichtdickenverlauf vorgenommen werden.

Die Auftragswalze B2 kann vom Plattenzylinder abgehoben werden. Die Druckversuche und die Simulationen wurden für den Zustand der abgehobenen und der angeordneten Auftragswalze durchgeführt.

Die Druckform besaß zwei nichtdruckende Flächen. Für den Fall der angestellten Auftragswalze ergeben sich die in Bild 8.2 dargestellten Werteverläufe.

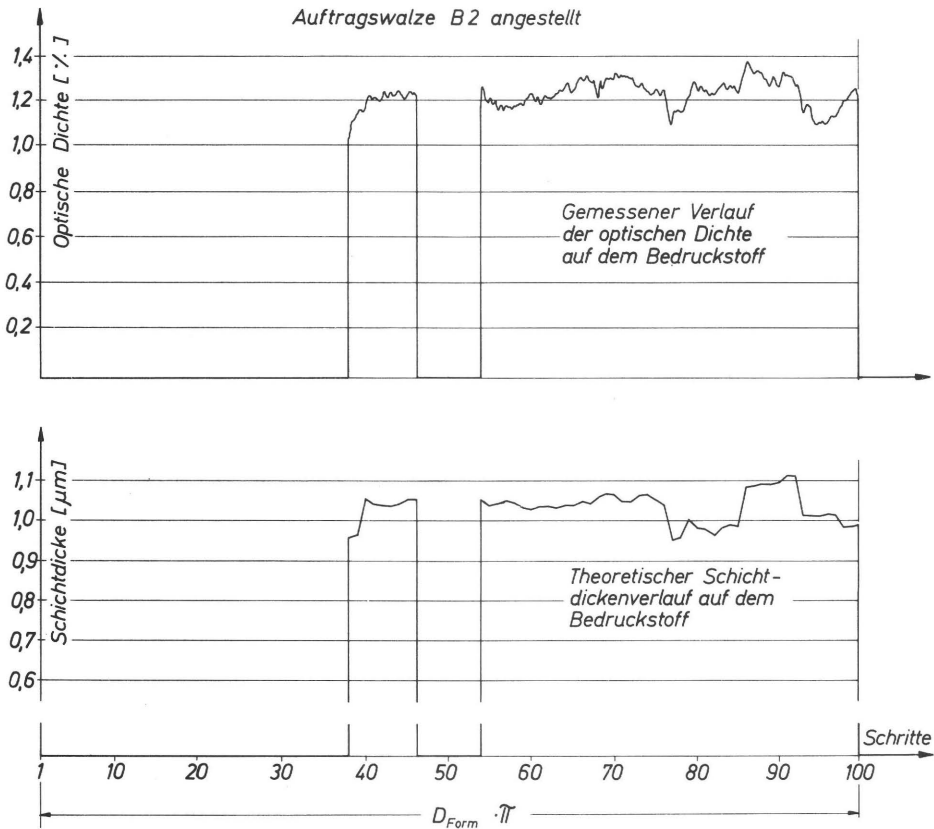


Bild 8.2: Verlauf der gemessenen optischen Dichte und der theoretisch ermittelten Schichtdicke bei angestellter Auftragswalze B2

Ähnliche Resultate ergeben sich, wenn die Auftragswalze B2 vom Formzylinder abgehoben wird (Bild 8.3).

Beide Diagramme zeigen, daß die Verläufe ähnlich sind. Der Verlauf der optischen Dichte der ersten bedruckten Fläche zeigt einen charakteristischen Absatz, der auch bei dem theoretisch bestimmten Schichtdickenverlauf vorhanden ist. Ebenso augenfällig ist das Auftreten eines Dichte- bzw. Schichtdickenmaximums innerhalb der zweiten bedruckten Fläche.

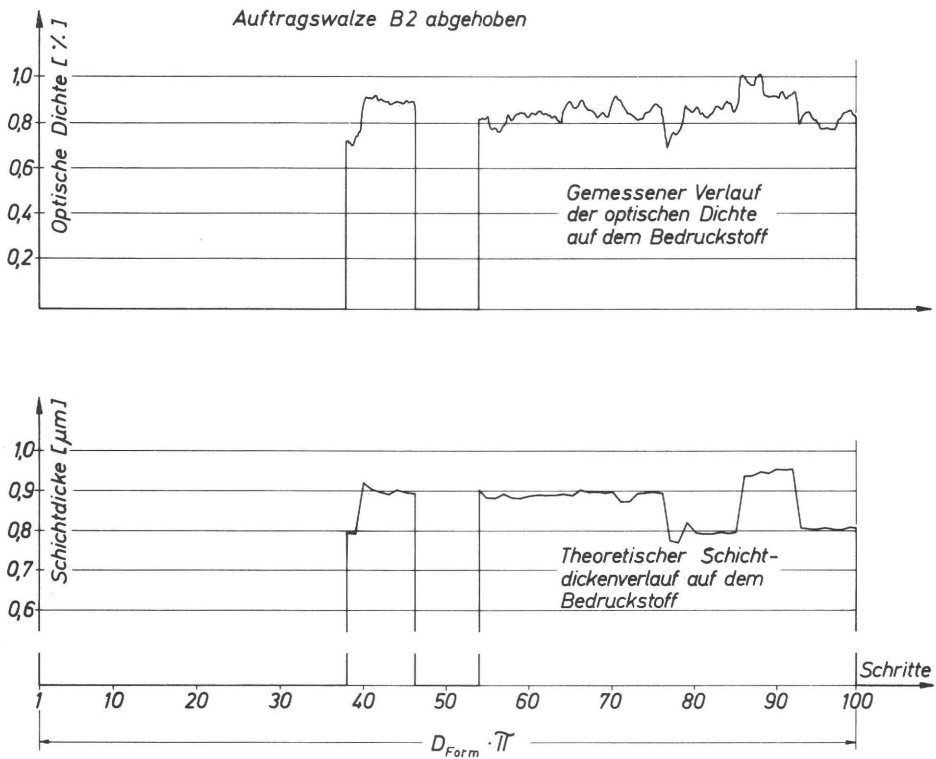


Bild 8.3: Verlauf der gemessenen optischen Dichte und der theoretisch ermittelten Schichtdicke bei abgehobener Auftragswalze B2

Insgesamt ist eine gute qualitative Übereinstimmung festzustellen. Das theoretische Modell wird auch durch diese Vergleichsuntersuchungen in überzeugender Weise bestätigt.

9. Theoretische Untersuchungen zum Zwecke der Farbwerksoptimierung

In der Einleitung wurde als Hauptforderung an ein Farbwerk die Realisierung einer konstanten Farbbelegung der druckenden Formelemente gestellt.

In den sich anschließenden Ausführungen wurden die heute gebräuchlichen Farbwerke erläutert. Es zeigt sich, daß diese Farbwerke die druckenden Formelemente nicht mit einer Farbschicht konstanter Dicke belegen, sondern ein Schichtdickenrelief erzeugen. Es drängt sich nun die Frage auf, ob es Farbwerkssysteme gibt, die die oben angeführte Hauptforderung weitgehendst erfüllen.

9.1 Rückwirkungsfreies System

Ein einfaches Walzensystem (Bild 9.1), bekannt in der Beschichtungstechnik und im Flexodruckverfahren, wäre in einigen Grenzfällen geeignet, einen Farbfilm konstanter Schichtdicke herzustellen und diesen den druckenden Flächen des Formzylinders unmittelbar zuzuführen.

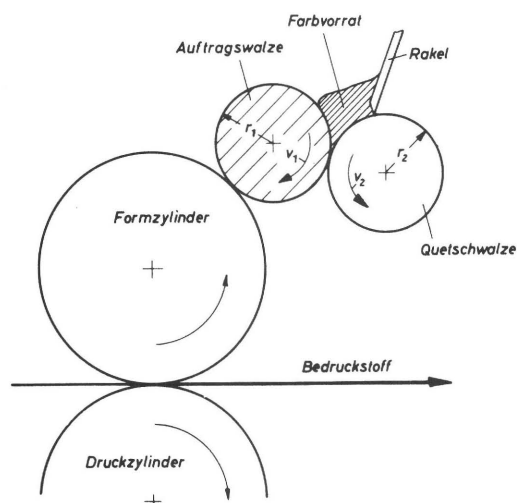


Bild 9.1: Schema eines rückwirkungsfreien Systems

Nach der Farbübertragung an den Formzylinder befindet sich auf der Auftragswalze ein Farbfilm mit starken Schichtdickenschwankungen. Diese Schichtdickenschwankungen werden jedoch durch den vorhandenen Farbvorrat zwischen Auftragswalze und Quetschwalze total abgebaut.

Dieses System ist patentiert für das Flexodruckverfahren [64].

Eine Veröffentlichung, welche die theoretischen Zusammenhänge auf Grund der Arbeiten von Peppler [65] für den speziellen Fall des Feuchtwerkes, also für geringe Vis-

kosität darstellt, ist in [66] zu finden. Die in solchen Systemen auftretenden Kräfte sind beträchtlich. Sie führen zu Verformungen, die Schichtdickendifferenzen über die Maschinenbreite zur Folge haben. Betrachtet man die von Peppler abgeleitete Gleichung

$$\frac{p}{b} = 1,225 \cdot \eta_F \cdot (v_1 + v_2) \cdot \frac{1}{S_0} \cdot \frac{2r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (9.1)$$

dann stellt man fest, daß diese Kräfte verringert werden, indem z.B. die Summe $(v_1 + v_2)$ klein gehalten wird. Da v_1 durch die Druckgeschwindigkeit der Maschine vorgegeben ist, kann v_2 dadurch negativ werden. Damit noch ein Farbtransport stattfindet, muß jedoch $(v_1 + v_2) > 0$ sein. Die beim Gegeneinanderlauf auftretende Reibung führt zu Tangentialverformungen der Gummiwalze und zu periodischen Rückverformungen. Daraus ergibt sich schließlich eine Streifenbildung.

Eine Verringerung der Kräfte kann auch dadurch erreicht werden, indem der Radius r_2 der Quetschwalze gegen Null geführt wird. Die Quetschwalze wird dadurch zur Rakel.

Die Rakel würde dabei mit einer Gummiwalze zusammenarbeiten. Ein solches System muß versagen, da die gewünschte Spaltweite aus mechanischen Gründen nicht eingehalten werden kann. Diese Überlegungen zeigen, daß Zweiwalzensysteme auch unter Einschluß des Rakelwalzensystems kaum in der Lage sein werden, die Walzenfarbwerke zu ersetzen.

9.2 Verminderung der Schichtdickenschwankungen auf der Druckform durch günstige Wahl des Primärflusses

Die Ergebnisse in Kapitel 7 machen deutlich, daß die erreichbare Konstanz der Farbschichtdicke hauptsächlich vom Typ des Farbwerkes abhängig ist.

Der Primärfluß ist derjenige Farbfluß in einem Walzenfarbwerk, welcher die größte Farbmenge führt. In der Praxis wird häufig angenommen, daß der Primärfluß von der Farbwerksgeometrie abhängt und quasi den kürzesten Transportweg vom Duktor zur Druckform darstellt. In Wirklichkeit ist die Farbflaufteilung auf die einzelnen Auftragswalzen weitaus komplizierter und läßt sich nur mittels der digitalen Simulation oder durch eine Messung bestimmen.

In den nachfolgenden theoretischen Untersuchungen soll geklärt werden, ob durch Veränderung des Primärflusses ein nachhaltiger Abbau der Schichtdickenschwankungen auf der Druckform möglich ist.

Die schon bekannten Walzenkombinationen 2, 3 und 4 eignen sich für diese Untersuchungen in hohem Maße, da sie hinsichtlich des Primärflusses, falls dieser als der kür-

zeste Transportweg vom Ductor zur Druckform aufgefaßt wird, deutliche Unterschiede aufweisen.

Betrachtet man die Walzenkombination 3, so ist erkennbar, daß der Primärfluß über die letzte Auftragswalze (in Drehrichtung des Formzylinders gesehen) dem Formzylinder zugeführt wird (Bild 9.2). In der Praxis wird dieses Farbwerk als hinterlastig bezeichnet.

Bei den beiden anderen Walzenkombinationen wird der Primärfluß über die zweite Auftragswalze dem Formzylinder zugeführt. Diese beiden Walzenkombinationen werden als vorderlastig bezeichnet.

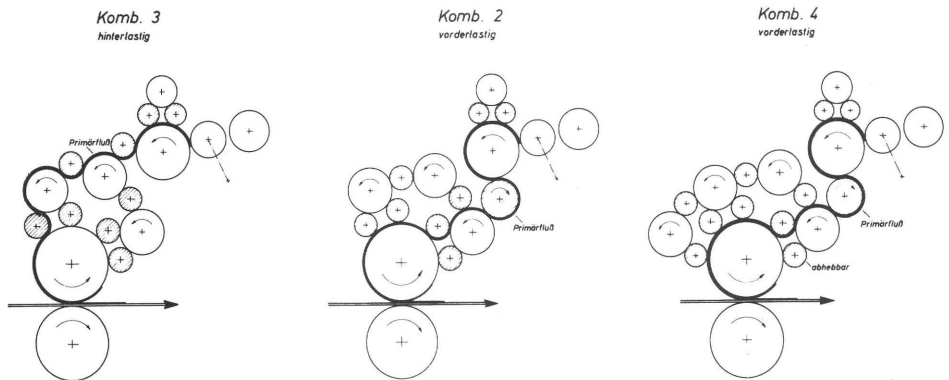


Bild 9.2: Schemata der Walzenkombinationen mit eingezeichnetem Primärfluß

Um eine Qualitätsfolge mittels der in Kapitel 6 erläuterten Kennziffern aufstellen zu können, ist es unbedingt notwendig, daß bei allen theoretischen Untersuchungen die gleichen Farbübertragungsverhältnisse in der Druckzone und zwischen den Gummi- und Stahlwalzen angenommen werden. Für die Kennzahlen der Walker-Fetzko-Gleichung (Gleichung 6.5) wurde gewählt:

$$a = 0,5; a = 1,0; w_0 = 1,0; x = 1,5$$

Der Farbspaltungsfaktor zwischen den Gummi- und Stahlwalzen wurde zu 0,5 gesetzt.

Da sich der gewünschte arithmetische Mittelwert des Schichtdickenverlaufes auf dem Bedruckstoff von 1 μm erst nach mehreren Simulationen iterativ bestimmen läßt, wurde – um den Rechenaufwand nicht unnötig zu steigern – eine Toleranz von

$\pm 0,05 \mu\text{m}$ zugelassen. Zwei Simulationen genügten, um diese Toleranz zu erzielen.

Das Rechenprogramm für die Walzenkombination 4 wurde so ausgebildet, daß die digitale Simulation des Farbtransportes auch dann durchgeführt werden kann, wenn die erste Auftragswalze vom Formzylinder abgehoben ist (durch Eingabe der Steuerzahl $KAB > 0$).

Die Endergebnisse der einzelnen Simulationen, die Schichtdickenverläufe längs dem Bedruckstoff, sind gemeinsam in Bild 9.3 dargestellt.

Betrachtet man die einzelnen Schichtdickenverläufe, so ist augenscheinlich, daß die hinterlastige Walzenkombination 3 den am wenigsten geglätteten Schichtdickenverlauf, also das ungünstigste Ergebnis liefert, was auch teilweise bereits der Tabelle 7.3 zu entnehmen ist [67].

Die vorderlastige Walzenkombinationen 2 und 4 liefern merklich bessere Resultate. Zum gleichen Schluß gelangt man, wenn man die in Kapitel 6 erläuterten Kennziffern für jeden Schichtdickenverlauf bildet und vergleicht (Tabelle 9.1).

	Komb. 2	Komb. 3	Komb. 4	Komb. 4*
Maximalwert	1,0489	1,1228	1,0197	1,0665
Minimalwert	0,93514	0,90043	0,95170	0,97246
Ungleichförmigkeitsgrad	11,567	22,459	6,9092	9,2829
Arithmetischer Mittelwert	0,98383	0,99001	0,98408	1,0131
Quadratischer Mittelwert	0,98419	0,99240	0,98423	1,0135
Formfaktor $E2/E1$	1,0004	1,0024	1,0001	1,0003
Durchschnittliche Abweichung	0,021379	0,059561	0,013978	0,021913
Varianz der Schichtdicke	0,00072060	0,0048098	0,00028735	0,00067580
Standardabweichung	0,026844	0,069359	0,016951	0,025996
Schichtdickenbezogene Standardabweichung	0,027285	0,070052	0,017226	0,025659
Gütegrad	0,2606	0,3064	0,2676	0,2676

* mit abgehobener Auftragswalze

Tabelle 9.1

Um abzuklären, weshalb vorderlastige und hinterlastige Walzenkombinationen so deutlich unterschiedliche Ergebnisse aufweisen, wird eine Farbmengenbilanz für den Formzylinder erstellt. Sie erlaubt festzustellen, wieviel Prozent der dem Formzylinder zugeführten Gesamtfarbmenge auf die einzelnen Auftragswalzen entfällt. Sie ist als Nebenprodukt der digitalen Simulation rasch erhältlich.

In Bild 9.4 ist für die einzelnen Walzenkombinationen dargestellt, welcher Anteil an der Gesamtfarbmenge dem Formzylinder durch die einzelnen Auftragswalzen zugeführt wird.

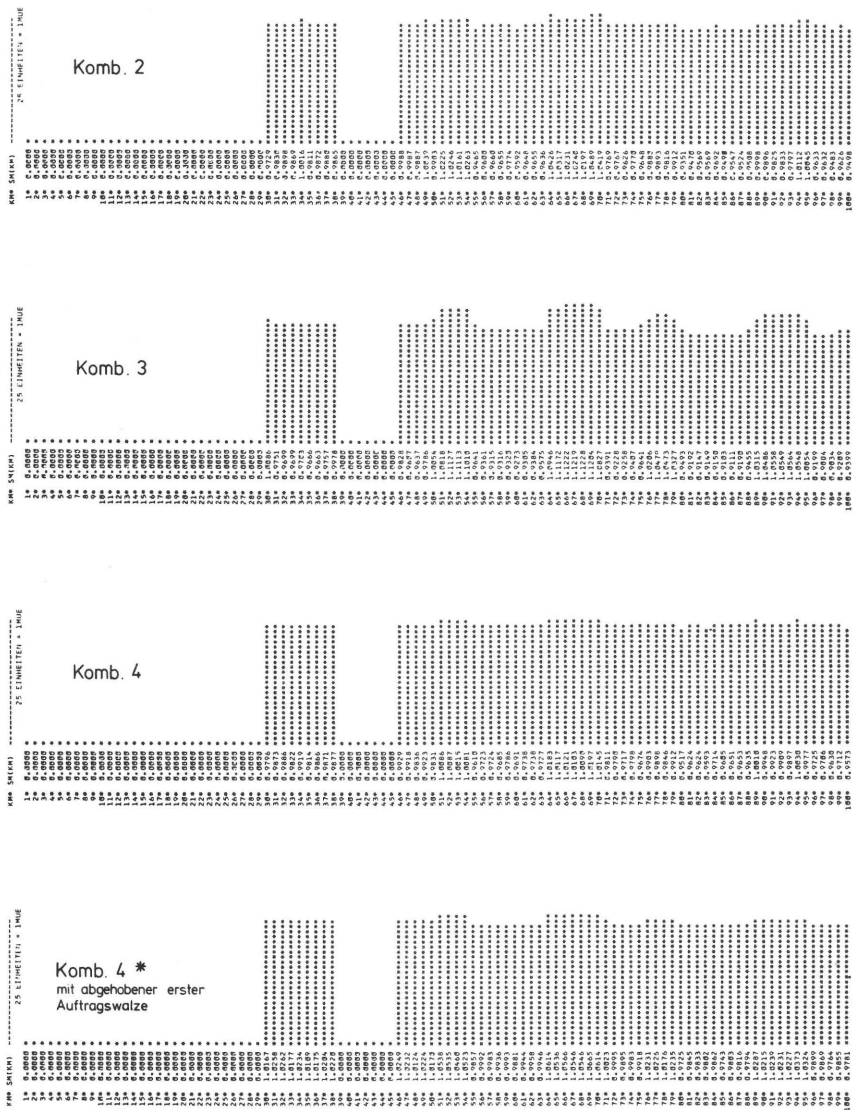


Bild 9.3: Theoretisch ermittelte Farbschichtdickenverläufe

Die Tatsache, daß die vorderlastigen Walzenkombinationen so deutlich bessere Ergebnisse liefern, ist darauf zurückzuführen, daß die Hauptfarbmenge über die ersten zwei Auftragswalzen dem Formzylinder zugeführt wird. Die nachfolgenden Auftragswalzen übertragen eine sehr geringe Farbmenge und wirken im Grunde genommen als ausgesprochene Glättungswalzen.

Bei der Walzenkombination 3 werden von der letzten Auftragswalze noch 22,7 % der Gesamtfarbmenge übertragen. Diese Schicht wird von keiner nachfolgenden Walze mehr geglättet. Damit ist die mangelhafte Glättung längs dem Bedruckstoff erklärt.

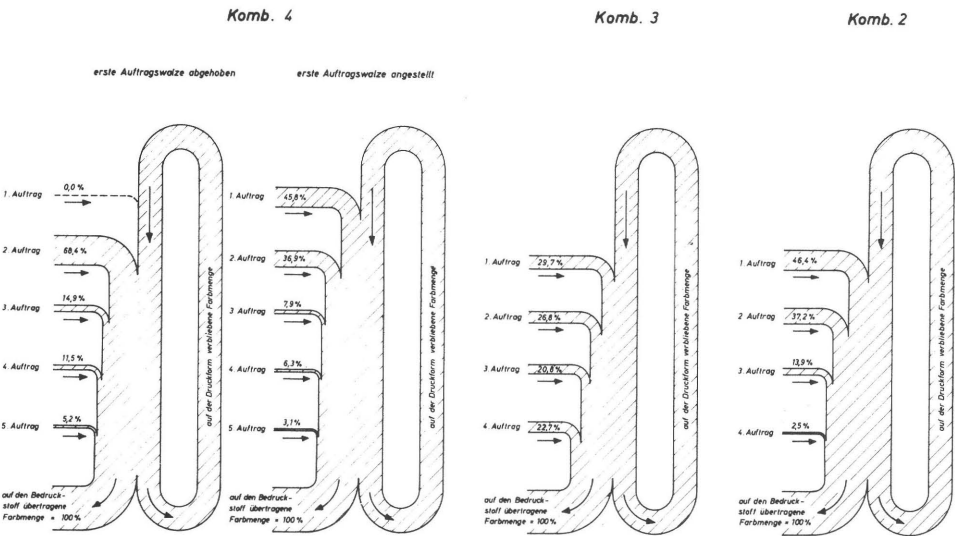


Bild 9.4: Farbmengenbilanzen der untersuchten Walzenkombinationen

Bei Betrachtung der in Bild 9.4 dargestellten Farbmengenbilanzen wird offenbar, daß die geometrische Interpretation des Primärflusses (kürzester Transportweg vom Duktur zur Form) den wirklichen Flußverhältnissen meist nicht gerecht wird. Nur die Simulation oder die Messung erteilen schlüssige Auskunft über den Farbfluß und damit auch über den wirklichen Primärfluß. Dies bestätigen auch die Untersuchungen der in Bild 9.5 dargestellten Walzenkombinationen.

Diese Walzenkombinationen besitzen einen recht komplizierten Aufbau und haben

mindestens 4 Auftragswalzen. Auch bei diesen Untersuchungen wurden die eingangs gewählten Farbübertragungskennzahlen zugrunde gelegt.

Die Untersuchungen wurden für kontinuierliche sowie diskontinuierliche Farbzufuhr durchgeführt. Der Übergang von der einen zur anderen Einspeisungsart wird erreicht, indem die Heberstreifenbreite dem Umfang des Hebers gleichgesetzt wird.

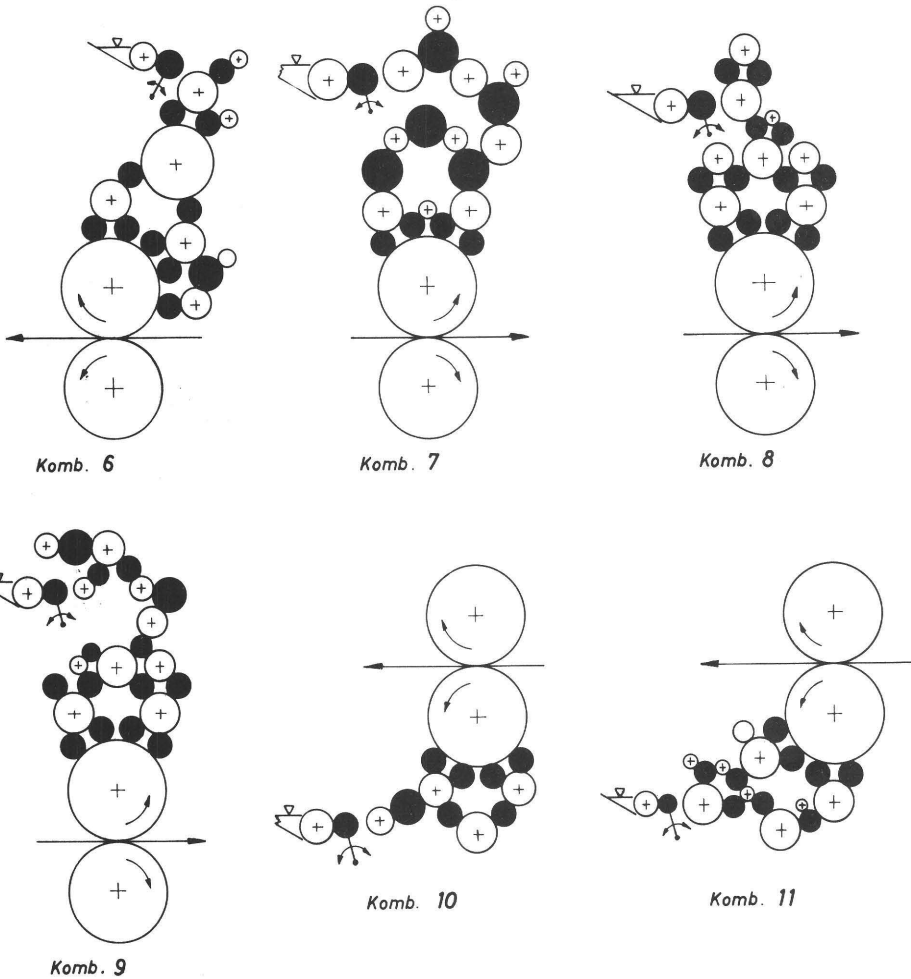


Bild 9.5: Schemata der theoretisch untersuchten Walzenkombinationen

Da die Quellenprogramme der in Bild 9.5 dargestellten Walzenkombinationen alle ähnlich aufgebaut sind, wurde nur der Systemplan sowie das Quellenprogramm der Walzenkombination 9 für den Fall der diskontinuierlichen Farbzufuhr im Anhang wiedergegeben.

Den Untersuchungen mit diskontinuierlicher Farbzufuhr wurde die Druckform a (Bild 9.6) zugrunde gelegt.

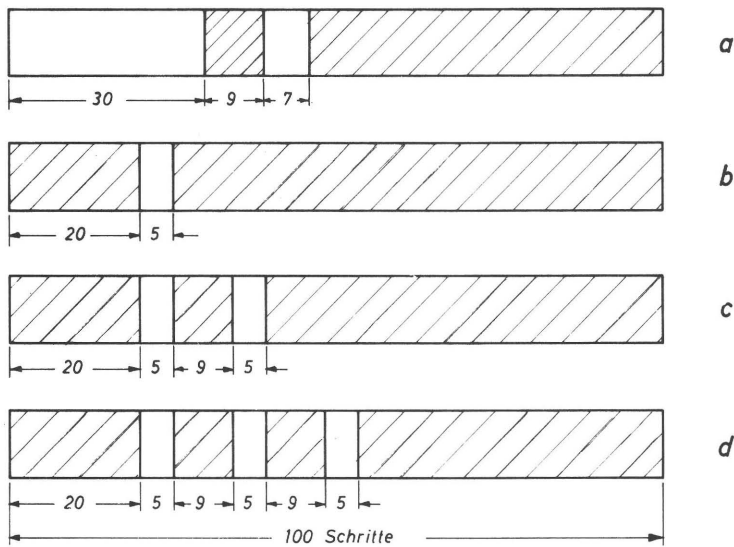


Bild 9.6: Abwicklungen der Druckformen a, b, c und d (die druckenden Flächen sind schraffiert).

Die Dicke des Heberstreifens wurde so gewählt, daß die mittlere Schichtdicke auf dem Bedruckstoff wiederum $1 \pm 0,05 \mu\text{m}$ erreicht.

Bei den Untersuchungen mit diskontinuierlicher Farbzufuhr wurde die Heberstreifenbreite KBR variiert. Die Heberstreifenbreite wird als Vielfaches einer Einheitsschrittlänge angegeben. Ferner gibt der Faktor FIDA an, wieviel Formzylinderumdrehungen vergehen, bis eine neue Farbeinspeisung durch die Heberwalze erfolgt.

Trägt man den Ungleichförmigkeitsgrad η jeder Walzenkombination über der Heberstreifenbreite KBR auf, so kann man zunächst die Qualitätsrangfolge der einzelnen Walzenkombinationen finden. Außerdem ist erkennbar, ob eine Walzenkombination bei Verkleinerung der Heberstreifenbreite KBR einen großen oder geringen Anstieg des Ungleichförmigkeitsgrades η aufweist (Bild 9.7).

Zunächst läßt sich feststellen, daß die Ungleichförmigkeitsgrade der Walzenkombinationen 11 und 8 die ungünstigsten Werte aufweisen. Die Werte der anderen Walzenkombinationen liegen relativ eng beieinander. Man kann ferner feststellen, daß mit einer merklichen Qualitätsverschlechterung nur die Walzenkombination 10 auf eine Verringerung der Heberstreifenbreite reagiert. Dieser Effekt kann darauf zurückgeführt werden, daß der Weg vom Duktur bis zum Formzylinder relativ kurz ist, so daß der Heberstreifen nur ungenügend abgebaut werden kann.

Auch die theoretischen Untersuchungen bei Annahme einer kontinuierlichen Farbzufuhr liefern die gleiche Qualitätsrangfolge. Diese Untersuchungen wurden nicht nur für die Druckform a, sondern auch für die Druckform b, c und d durchgeführt.

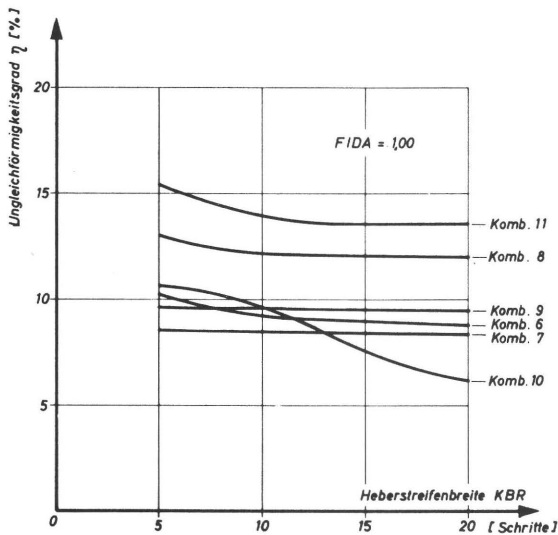


Bild 9.7: Abhängigkeit des Ungleichförmigkeitsgrades der untersuchten Walzenkombinationen von der Heberstreifenbreite KBR bei Verwendung der Druckform a

Einen raschen Überblick der Ergebnisse der einzelnen Simulationen gestattet die Darstellung der Ungleichförmigkeitsgrade als Säulendiagramm für die einzelnen Walzenkombinationen bei Verwendung der Druckformen a, b, c und d (Bild 9.8).

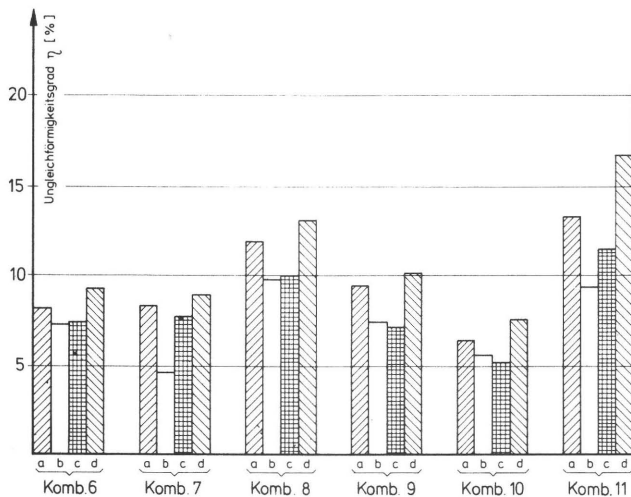


Bild 9.8: Ungleichförmigkeitsgrade der untersuchten Walzenkombinationen für die einzelnen Druckformen

In dem Säulendiagramm ist erkennbar, daß die Walzenkombinationen 11 und 8 die höchsten Ungleichförmigkeitsgrade aufweisen. Außerdem sind die Ungleichförmigkeitsgrade für die einzelnen Walzenkombinationen (für die Druckform a) bei kontinuierlicher

Farbzufuhr etwas niedriger als diejenigen Werte, welche sich bei diskontinuierlicher Farbzufuhr bei einer Heberstreifenbreite $KBR = 20$ ergaben. Die kontinuierliche Farbzufuhr ist also vorteilhafter.

Hierbei ist vor allem erkennbar – und besser als in den Bildern 7.10 bis 7.15 – daß der Ungleichförmigkeitsgrad in hohem Maße von der Druckform abhängt.

Die Walzenkombinationen 6, 10, 7 und 9 besitzen relativ eng beieinanderliegende Ungleichförmigkeitsgrade, wie es schon in Bild 9.7 zu sehen war. Sie liegen zwischen 5 % und 10 %. Es zeigt sich dabei, daß die Qualität eines Farbwerkes keinesfalls mit der Zahl der Walzen zunimmt. So zeigt die Walzenkombination 10 wesentlich günstigere Werte als die Walzenkombination 8, obwohl diese fast doppelt so viele Farbwerkswalzen besitzt.

Als Nebenprodukt liefert die digitale Simulation auch die in Bild 9.9 dargestellten Verläufe des arithmetischen Mittelwertes auf dem Bedruckstoff während der Anlaufphase.

Es ist in Bild 9.9.3 zu beobachten, daß Walzenkombinationen mit einer großen Anzahl von Farbwerkswalzen den Fortdruckzustand wesentlich später erreichen als solche, die wesentlich weniger Walzen besitzen. So erreicht die Walzenkombination 10 den Fortdruckzustand schon nach 30 Umdrehungen, die Walzenkombination 9 denselben erst nach ca. 50 Umdrehungen.

Wird die Farbe kontinuierlich eingespeist, ändert sich der arithmetische Mittelwert der Farbschichtdicke nach Erreichen des Fortdruckzustandes nicht mehr.

Speist man hingegen die Farbe diskontinuierlich ein, so ist in Bild 9.9.1 und 9.9.2 zu beobachten, daß nur bei $FIDA = 1$ ein stetiges Anlaufverhalten vorliegt und bei $FIDA > 1$ sich die Heberstörungen in immer stärkerem Maße bemerkbar machen. Gleichzeitig verlängert sich der Anlaufvorgang ganz beträchtlich. Es zeigt sich, daß sich in diesem Fall der Fortdruckzustand erst nach ca. 80 Formzylinderumdrehungen einstellt.

Für die Praxis hat das Anlaufverhalten eines Farbwerkes eine große Bedeutung. Wird nämlich während des Maschinenlaufes die Farbzufuhr geändert, muß wieder eine der Anlaufzeit entsprechende Zeit abgewartet werden, bis Fortdruckbedingungen herrschen. Je schneller ein Farbwerk den Fortdruckzustand erreicht, desto niedriger kann die durch den Anlaufvorgang verursachte Makulatur gehalten werden. Farbwerken mit kontinuierlicher Farbzufuhr sollte darum der Vorzug gegeben werden.

Diskontinuierliche Farbzufuhr

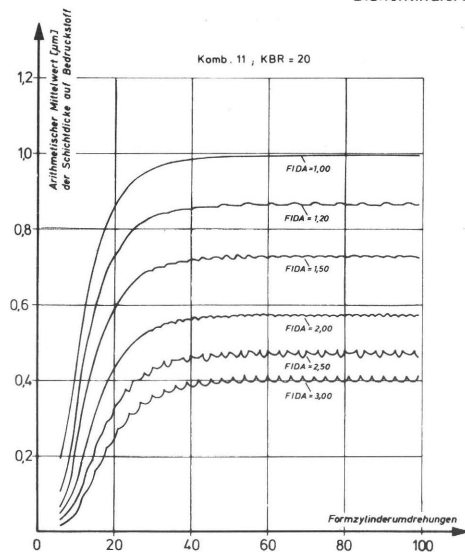


Bild 9.9.1:
Anlaufverhalten der Kombination 11 bei
diskont. Farbzufuhr

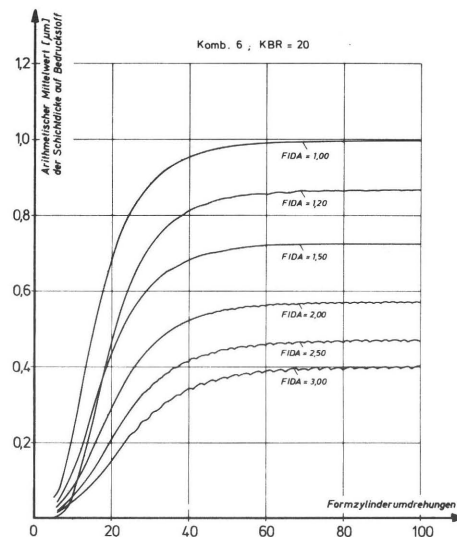


Bild 9.9.2:
Anlaufverhalten der Kombination 6 bei
diskont. Farbzufuhr

Kontinuierliche Farbzufuhr

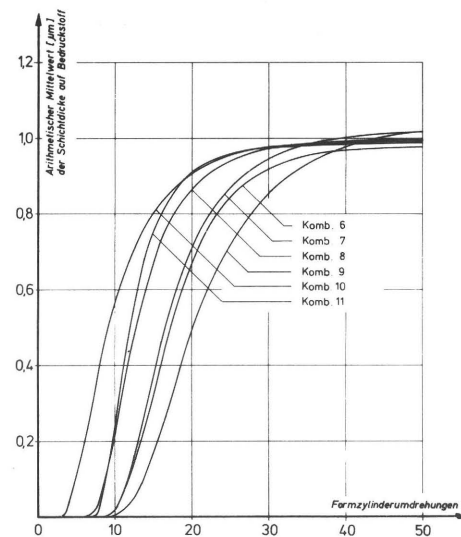


Bild 9.9.3:
Anlaufverhalten der untersuchten
Walzenkombination bei kontinu-
ierlicher Farbzufuhr

9.3 Abbau der Rückwirkungen von Störungen auf den Auftragswalzen

Besäße die Farbauftragswalze vor der Farbübertragung an die druckenden Elemente des Formzylinders einen völlig konstanten Farbfilm, so müßten die bedruckten Stellen auf dem Druckbogen ebenfalls eine konstante Farbschicht aufweisen.

Da die nichtdruckenden Elemente der Form keine Farbe von den Auftragswalzen zugeführt bekommen, entsteht auf den Auftragswalzen nach der Farbübertragung ein Schichtdickenrelief, das als Störgröße bei der nächsten Abwicklung wirkt und die Qualität des Druckerzeugnisses erheblich verschlechtern kann. Um das zu vermeiden, muß also vor der Farbübertragung an die druckenden Elemente der Druckform eine Schichtdickenglättung durchgeführt werden. Ein solches Schichtdickenglättungssystem können einige Walzen sein, die mit der Auftragswalze Kontakt besitzen.

Bei den praxisüblichen Farbwerken, die im Aufbau den bisher benützten Beispielen entsprechen, übernehmen der Reiber und davorliegende Gummiwalzen diese Aufgabe, ohne sie im gewünschten Maß erfüllen zu können. Da zwischen Reiber und Auftragswalze nur eine Farbspaltung auftritt, wird lediglich etwa eine Halbierung der Störgröße erzielt. Würde man die Auftragswalze mit zusätzlichen Walzen, die nichts mit dem Farbtransport zu tun haben, in Berührung bringen, könnte die Glättung erheblich verbessert werden, insbesondere dann, wenn sie zwischen den Berührungsstellen der Auftragswalze mit dem Reiber und dem Formzylinder angeordnet würden.

In diesem Falle würden auch die Heberstörungen abgebaut. Bild 9.10 zeigt ein Farbwerk dieser Art, das mit einer Auftragswalze arbeitet.

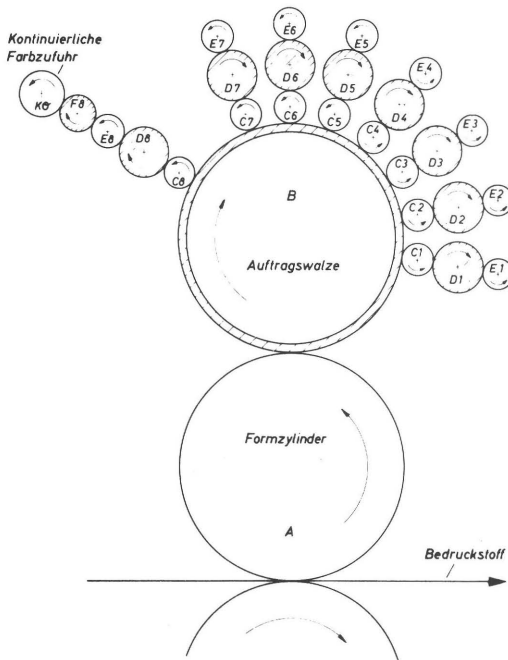


Bild 9.10:
Schema der Walzen-
kombination 12

Für die theoretischen Untersuchungen wurde die in Bild 9.10 dargestellte Walzenkombination 12, deren Auftragswalze ein Schichtdickenglättungssystem besitzt, gewählt.

Diese Walzenkombination besitzt nur eine Auftragswalze B, welche ein Schichtdickenglättungssystem, bestehend aus den Walzen C1 bis C7, D1 bis D7 und E1 bis E7 besitzt. Die Farbzufuhr soll in diesem Beispiel kontinuierlich über die Walze K0 erfolgen.

Der ungeglättete, in seiner Dicke stark schwankende Farbfilm gelangt zunächst in die Kontaktzone zwischen den Walzen B und C7, wird gespalten, wobei die Größe der Schichtdickenschwankungen abnimmt. In gleicher Weise wird der Farbfilm in den nachfolgenden Kontaktzonen geglättet. Dieser in seiner Dicke weitgehend konstante Farbfilm wird in der Kontaktzone zwischen der Auftragswalze B und dem Formzylinder A entsprechend den Übertragungsverhältnissen auf die druckenden Elemente des Formzylinders übertragen. Diese tragen dann ebenfalls einen gut geglätteten Farbfilm und übertragen in der Druckzone eine Farbschicht von konstanter Dicke an den Bedruckstoff.

Wenn die Auftragswalze B über dem ganzen Umfang mit einem elastischen Belag überzogen ist, so kann ihr Durchmesser beliebig gewählt werden. Besitzt dieser Belag (aufgespanntes Gummituch) jedoch einen Unterbruch, so muß der Durchmesser der Auftragswalze mit dem des Formzylinders identisch sein.

Um abschätzen zu können, wie umfangreich das Schichtdickenglättungssystem sein muß, damit der Farbfilm gut geglättet wird, wurde ein Rechenprogramm für die Walzenkombination 12 entwickelt.

Es wurde so aufgebaut, daß man durch Wahl der Steuerzahl KFALL1 die Anzahl der Reitergruppen und durch Wahl der Steuerzahl KFALL2 die Zahl der Walzen einer Reitergruppe (Reitergruppenhöhe) festlegt. Das Farbzufuhrsystem und die Walzenkette F8, E8, D8 und C8 werden dabei nicht verändert.

Die Übertragungsverhältnisse werden ebenfalls unverändert beibehalten. Es wurden die schon im Kapitel 9.2 gewählten Farbübertragungskennzahlen in das Rechenprogramm eingegeben.

Zur Erläuterung der Steuerzahlen KFALL1 und KFALL2 sei folgendes gesagt:

Ist KFALL 1 = 1, so haben alle sieben Reitergruppen mit der Auftragswalze B Kontakt. Erhöht sich KFALL1 jeweils um den Wert 1, so wird dabei eine Reitergruppe von der Auftragswalze B abgehoben.

Ist schließlich KFALL 1 = 8, so sind alle sieben Reitergruppen von der Auftragswalze B abgehoben. Die abgehobenen Reitergruppen nehmen am Farbtransport nicht mehr teil.

Ist KFALL 2 = 1, so bestehen die Reitergruppen aus jeweils einer Walze.

Ist KFALL 2 = 2, so bestehen die Reitergruppen aus jeweils zwei Walzen.

Ist KFALL 2 = 3, so bestehen die Reitergruppen aus jeweils drei Walzen.

Die Ergebnisse der einzelnen Simulationsläufe, die Schichtdickenverläufe, sind in Bild 9.11 dargestellt. Aus diesem Bild geht hervor, daß das günstigste Ergebnis, also der meistgeglättete Schichtdickenverlauf dann erhältlich ist, wenn alle Reitergruppen Kontakt mit der Auftragswalze B besitzen. Eine exakte Bewertung der einzelnen Schichtdickenverläufe gestatten die in Kapitel 6.3 erläuterten Kennziffern (Tabelle 9.2).

		KFALL 1 = 1	KFALL 1 = 2	KFALL 1 = 3	KFALL 1 = 4	KFALL 1 = 5	KFALL 1 = 6	KFALL 1 = 7	KFALL 1 = 8
KFALL 2 = 1	Maximalwert	1,03660	1,04206	1,04973	1,05831	1,08721	1,14408	1,16310	1,12941
	Minimalwert	1,01231	1,00618	0,995833	0,981694	0,962578	0,931253	0,899104	0,852502
	Ungleichförmigkeitsgrad	2,36994	3,48896	5,25537	7,47011	12,1681	20,8774	26,2130	28,7485
	Arithmetischer Mittelwert	1,02463	1,02522	1,02558	1,02560	1,02428	1,01940	1,00710	0,963219
	Quadratischer Mittelwert	1,02464	1,02525	1,02566	1,02578	1,02473	1,02080	1,00938	0,966382
	Formfaktor E2 / E1	1,00002	1,00003	1,00007	1,00017	1,00044	1,00137	1,00226	1,00328
	Durchschnittliche Abweichung	0,00482402	0,00587477	0,0100054	0,0155811	0,0244645	0,0431289	0,0547839	0,0643242
	Varianz der Schichtdicke	0,0000351259	0,0000574940	0,000159467	0,000371395	0,000943941	0,00289755	0,00467229	0,00620094
	Standardabweichung	0,00592671	0,007586248	0,0126280	0,0192716	0,0307236	0,0538289	0,0683542	0,0787460
	Schichtdickenbezogene Standardabweichung	0,0057826	0,00739597	0,0123130	0,0187906	0,0299953	0,0528046	0,0678723	0,0817530
KFALL 2 = 2	Gütegrad	0,4792	0,4423	0,3490	0,2933	0,2423	0,2108	0,2049	0,2025
	Maximalwert	1,02384	1,02733	1,03053	1,03621	1,04582	1,06364	1,08752	1,12941
	Minimalwert	1,01804	1,01656	1,01206	1,00381	0,990402	0,968086	0,930939	0,852503
	Ungleichförmigkeitsgrad	0,567520	1,05293	1,80464	3,16671	5,42315	9,38982	15,5641	28,7485
	Arithmetischer Mittelwert	1,02091	1,02239	1,02317	1,02314	1,02180	1,01760	1,00602	0,963220
	Quadratischer Mittelwert	1,02091	1,02239	1,02317	1,02317	1,02189	1,01790	1,00690	0,966382
	Formfaktor E2 / E1	1,00000	1,00000	1,00001	1,00003	1,00010	1,00029	1,00087	1,00328
	Durchschnittliche Abweichung	0,00105498	0,00171480	0,00336152	0,00645233	0,0118096	0,0202365	0,0354038	0,0643243
	Varianz der Schichtdicke	0,00000171621	0,00000499211	0,0000177426	0,0000629538	0,000203045	0,000619223	0,00179472	0,00620096
	Standardabweichung	0,00131004	0,00223430	0,00421220	0,00793434	0,0142494	0,0248842	0,0423642	0,0787462
KFALL 2 = 3	Schichtdickenbezogene Standardabweichung	0,00128320	0,00218538	0,00411683	0,00775487	0,0139454	0,0244538	0,0421106	0,0817531
	Gütegrad	0,5259	0,5231	0,5310	0,4366	0,3315	0,2668	0,2305	0,2025
	Maximalwert	1,00352	1,01870	1,02711	1,03565	1,04822	1,06938	1,09035	1,12941
	Minimalwert	0,998694	1,00887	1,00843	1,00350	0,992311	0,971944	0,935428	0,852503
	Ungleichförmigkeitsgrad	0,481381	0,968444	1,83238	3,14940	5,47917	9,58742	15,4241	28,7485
	Arithmetischer Mittelwert	1,00164	1,01477	1,01897	1,02088	1,02042	1,01628	1,00441	0,963220
	Quadratischer Mittelwert	1,00164	1,01478	1,01898	1,02092	1,02052	1,01657	1,00524	0,966382
	Formfaktor E2 / E1	1,00000	1,00000	1,00001	1,00003	1,00010	1,00029	1,00082	1,00328
	Durchschnittliche Abweichung	0,000896025	0,00188958	0,00372687	0,00676056	0,0118866	0,0202937	0,0347627	0,0643243
	Varianz der Schichtdicke	0,00000128094	0,00000563096	0,0000207153	0,0000674276	0,000203817	0,000599089	0,00169174	0,00620096
	Standardabweichung	0,00113179	0,00237296	0,00455140	0,00821143	0,0142765	0,0244763	0,0411308	0,0787462
	Schichtdickenbezogene Standardabweichung	0,00112993	0,00233842	0,00446669	0,00804345	0,0139907	0,0240841	0,0409500	0,0817531
	Gütegrad	1,0000	1,0000	0,5367	0,4135	0,3336	0,2627	0,2338	0,2025

Tabelle 9.2

Trägt man den Ungleichförmigkeitsgrad der einzelnen Schichtdickenverläufe über der Zahl der Reitergruppen (Bild 9.12), so findet man einen asymptotischen Abfall derselben. Der Anschaulichkeit halber wurden die einzelnen Punkte, welche nur für ganzzahlige Werte der Reitergruppenanzahl definiert sind, durch einen Kurvenzug verbunden.

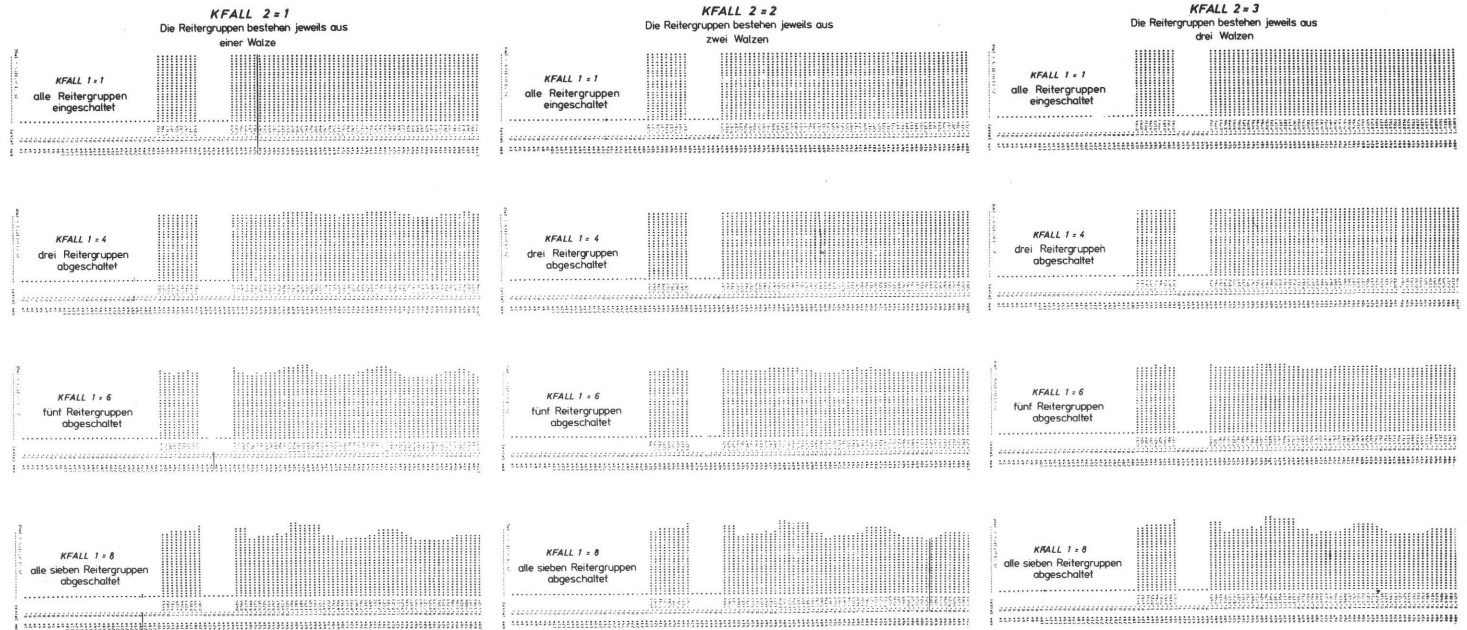


Bild 9.11: Schichtdickenverläufe der Walzenkombination 12
bei unterschiedlicher Ausbildung des Schichtdickenglättungssystems

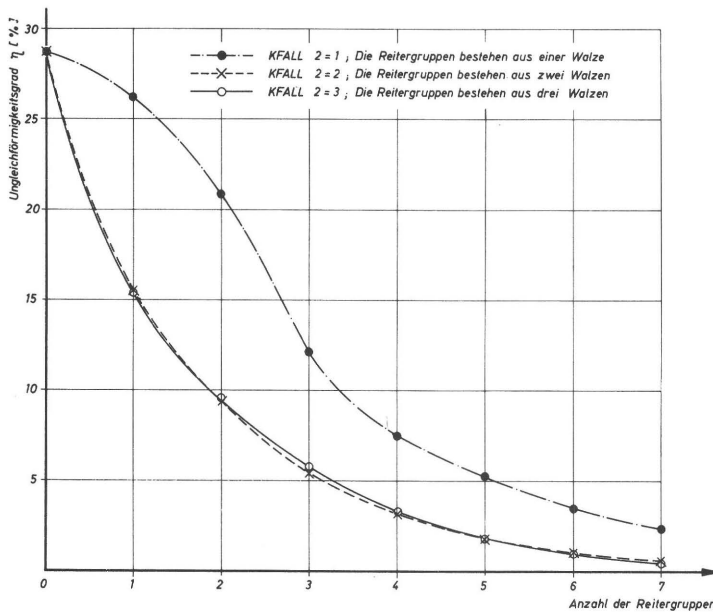


Bild 9.2: Abhängigkeit des Ungleichförmigkeitsgrades von der Zahl der Reitergruppen und deren Umfang

Bei einem System, dessen Reitergruppen jeweils aus einer Walze bestehen, sinkt der Ungleichförmigkeitsgrad zunächst schwach, dann jedoch stark ab. Bestehen die Reitergruppen jeweils aus zwei Walzen, so sinkt der Ungleichförmigkeitsgrad wesentlich rascher ab. Eine weitere Erhöhung der Walzenanzahl einer Reitergruppe auf drei Walzen, bringt keine merkliche Verbesserung mehr.

Vergleicht man die soeben gefundenen Resultate mit denjenigen der in Kapitel 9.2 behandelten konventionellen Walzenkombinationen, so ist feststellbar, daß die Walzenkombination 12 mit nur drei Reitergruppen, bestehend aus insgesamt sechs Walzen, erheblich bessere Resultate aufweist.

Dieses Ergebnis wird noch übertroffen, wenn man sechs Reitergruppen, welche jeweils aus einer Walze bestehen, als Schichtdickenglättungssystem verwendet. Wählt man jedoch sieben Reitergruppen, bestehend aus jeweils zwei Walzen, so erzielt man eine fast vollkommene Glättung. Der Ungleichförmigkeitsgrad beträgt in diesem Falle (siehe Tabelle 9.2, K FALL 1 = 1, K FALL 2 = 2) $\eta = 0,567 \%$ und ist damit eine Größenordnung kleiner als der des besten Ergebnisses der in Kapitel 9.2 behandelten konventionellen Walzenkombinationen. Auch das Anlaufverhalten (Bild 9.13) ist günstig. Umfaßt das Schichtdickenglättungssystem sieben Reitergruppen zu je zwei Walzen, so ist der Anlaufvorgang nach ca. 40 Umdrehungen abgeschlossen.

Bei der konstruktiven Gestaltung eines solchen Schichtdickenglättungssystems muß

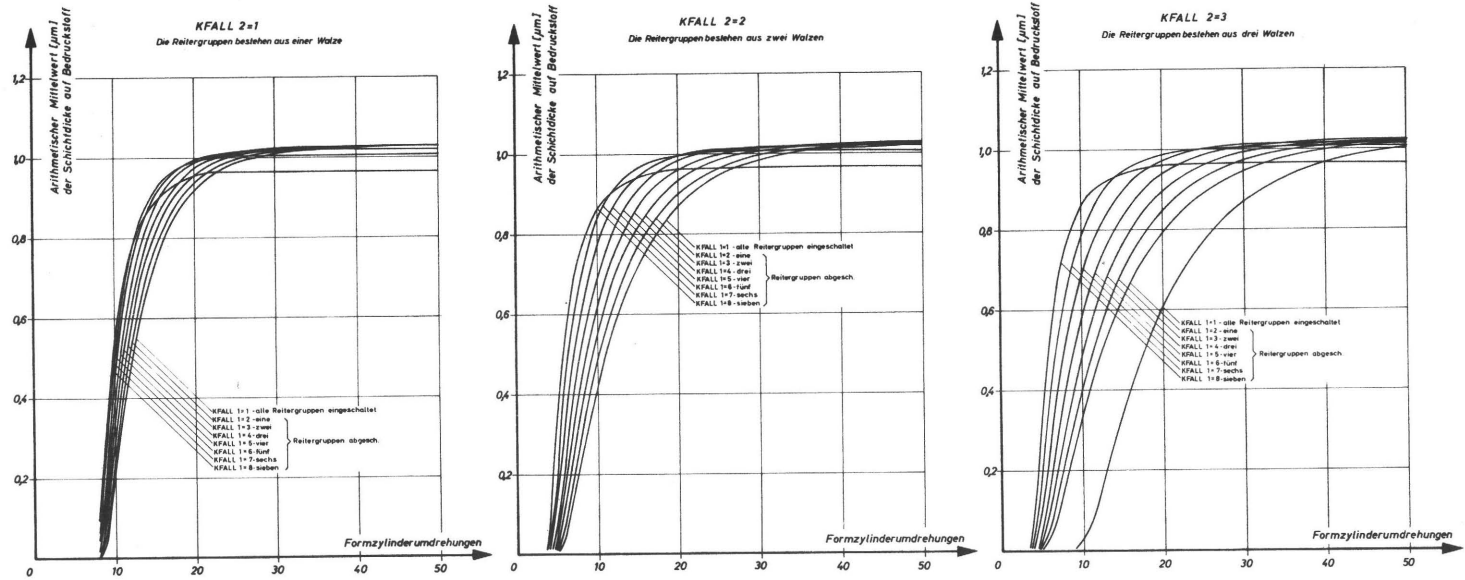


Bild 9.13: Anlaufverhalten der Walzenkombination 12 in Abhängigkeit von der Größe des Schichtdickenglättungssystems

darauf geachtet werden, daß zumindest einige der Stahlwalzen des Systems eine Changerbewegung ausführen, damit auch eine Glättung des Farbschichtdickenverlaufes in Längsrichtung der Auftragswalze vorhanden ist. Ferner sollte zwischen der Berührungszone der letzten Stahlwalze des Schichtdickenglättungssystems und der Auftragswalze und der Berührungszone zwischen der Auftragswalze und dem Formzylinder ein genügend großer Abstand vorhanden sein, damit sich die bei der Farbspaltung entstehenden Farbfäden weitgehend zurückbilden können.

Eine Verschmutzung dieses Farbwerkes wie auch eine Verletzung der Walzenoberfläche der Auftragswalze wird sich bei diesem Farbwerk ungünstiger auf die Einfärbung auswirken, als bei einem herkömmlichen Farbwerk, bei dem die nachfolgenden Auftragswalzen Fehlstellen mildern können.

Um diese Unzulänglichkeit zu vermeiden, könnte eine zweite Auftragswalze vorgesehen werden. Es soll im folgenden nachgeprüft werden, ob diese ebenfalls mit einem Glättungssystem ausgestattet werden muß. Diese Untersuchung soll an der in Kap. 8 erwähnten Walzenkombination 5 (Bild 9.14) durchgeführt werden.

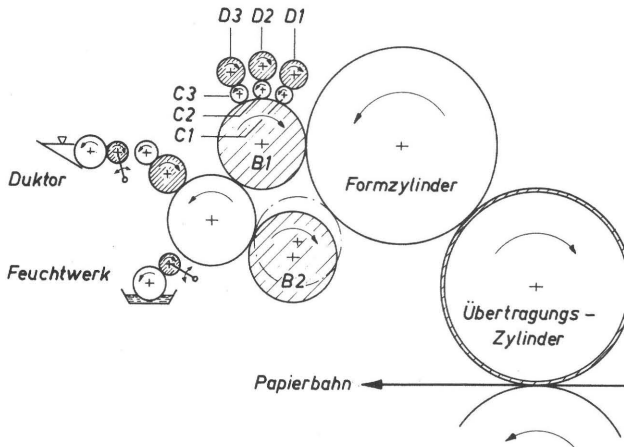


Bild 9.14: Schema der Walzenkombination 5 mit dem Schichtdickenglättungssystem

Es wurde ein Rechenprogramm entwickelt, das die Möglichkeit zur Variation des Schichtdickenglättungssystems enthält. Außerdem konnten die Untersuchungen bei vom Formzylinder abgehobener Auftragswalze B 2 durchgeführt werden. Das wurde durch Eingabe entsprechender Werte für die Steuerzahlen KFALL1 und KFALL2 bewerkstelligt.

Wenn $KFALL2 \leq 0$ ist, dann hat die Auftragswalze B2 keinen Kontakt mit dem Formzylinder.

Wenn $KFALL2 > 0$ ist, so steht die Auftragswalze B2 in Kontakt mit dem Formzylinder.

Wenn $KFALL1 = 1$ ist, so haben alle drei Reitergruppen Kontakt mit der Auftragswal-

KFALL 2 = 1
Auftragswalze B2 angestellt



KFALL 2 = 0
Auftragswalze B2 abgehoben

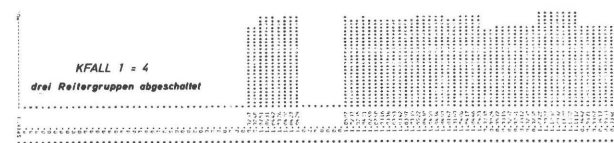
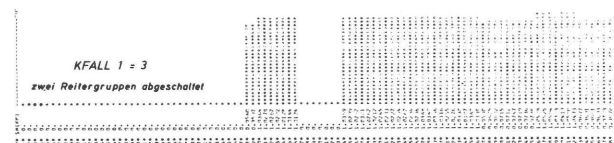


Bild 9.15: Schichtdickenverläufe der Walzenkombination 5 bei Änderung der Anzahl der Reitergruppen für an- und abgestellte Auftragswalze B2

ze B1. Erhöht sich der Wert der Steuerzahl KFALL1 um den Betrag 1, so wird eine Reitergruppe von der Auftragswalze B1 abgehoben. Ist also $KFALL1 = 4$, so sind alle drei Reitergruppen abgestellt. Eine Reitergruppe besteht (siehe Bild 9.14) jeweils aus zwei Walzen. Die Ergebnisse der Simulationen, die Schichtdickenverläufe, sind im Bild 9.15 zusammengefaßt dargestellt.

Stellt man den Ungleichförmigkeitsgrad in Abhängigkeit von der Zahl der Reitergruppen dar (der Anschaulichkeit wegen wieder in Kurvenform), so kann bei abgestellter Auftragswalze B2 ein starkes Absinken des Ungleichförmigkeitsgrades verzeichnet werden (Bild 9.16).

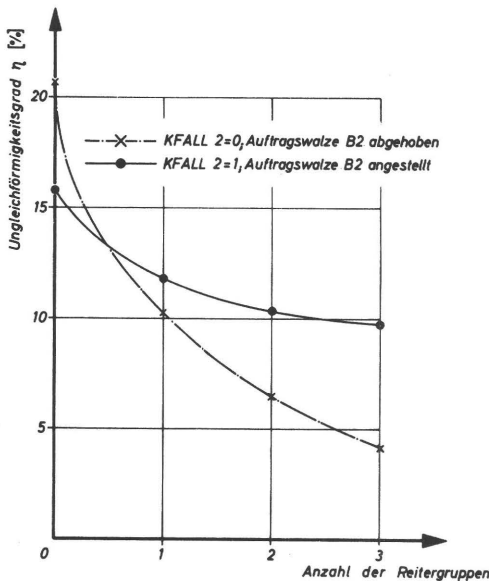


Bild 9.16:
Abhängigkeit des Ungleichförmigkeitsgrades von der Zahl der Reitergruppen für die Walzenkombination 5

Bringt man jedoch die Auftragswalze B2 in Kontakt mit dem Formzylinder, so wird der Effekt des Glättungssystems zum Teil wieder aufgehoben, weil die Störungen der Auftragswalze B2 fast unmittelbar auf die Druckform zurückwirken [63]. Durch praktische Versuche konnte dieses theoretische Ergebnis vollauf bestätigt werden.

Diese Ausführungen ergeben als wichtigstes Resultat die Tatsache, daß eine zusätzliche Auftragswalze ohne Glättungssystem den Glättungseffekt der anderen Auftragswalze stark vermindert, d.h., daß alle Auftragswalzen mit einem Glättungssystem versehen werden müssen.

Eine Zusammenfassung der Kennziffern zur Beurteilung der Schichtdickenverläufe befindet sich in der Tabelle 9.3.

	KFALL 2=1				KFALL 2=0			
	KFALL 1=1	KFALL 1=2	KFALL 1=3	KFALL 1=4	KFALL 1=1	KFALL 1=2	KFALL 1=3	KFALL 1=4
Maximalwert	1,04576	1,04806	1,05679	1,07709	1,03027	1,04135	1,05943	1,11118
Minimalwert	0,948462	0,945066	0,939279	0,919381	0,988825	0,975907	0,956020	0,902368
Ungleichförmigkeitsgrad	9,74738	10,3193	11,7625	15,8038	4,09617	6,46945	10,2266	20,6605
Arithmetischer Mittelwert	0,99815	0,998071	0,999028	0,997917	1,01188	1,01159	1,01121	1,01070
Quadratischer Mittelwert	0,998464	0,998425	0,999475	0,998674	1,01192	1,01171	1,01165	1,01255
Formfaktor E2/E1	0,0100032	0,0100035	0,0100045	0,0100076	0,0100004	0,0100012	0,0100044	1,00183
Durchschnittliche Abweichung	0,0213698	0,0226192	0,0250984	0,0313428	0,00723154	0,0134808	0,0265409	0,0537181
Varianz der Schichtdicke	0,000639216	0,000718407	0,000909119	0,00153937	0,0000800902	0,000258620	0,000908187	0,00380976
Standartabweichung	0,0252827	0,0268031	0,0301516	0,0392348	0,00894932	0,0160817	0,0301361	0,0617232
Schichtdickenbezogene Standartabweichung	0,0253296	0,0268549	0,0301809	0,0393168	0,00884421	0,0158974	0,0298022	0,060695
Gütegrad	0,2749	0,2788	0,2600	0,2347	0,3982	0,3048	0,2945	0,2360

Tabelle 9.3

9.4 Abbau der Rückwirkungen von Störungen auf der Druckform

Eine weitere Möglichkeit zur Qualitätssteigerung eines Farbwerkes bietet der gezielte Abbau der Schichtdickenschwankungen auf den druckenden Elementen der Druckform. In diesem Fall trägt nicht die Auftragswalze ein Schichtdickenglättungssystem, sondern die Druckform selbst (Walzenkombination 13, Bild 9.17).

Das kontinuierliche Farbzufuhrsystem speist den Formzylinder über die Walzen K0, C8 und B8 mit Farbe. Da der Formzylinder druckende und nichtdruckende Elemente enthält, wird die Farbschicht auf den druckenden Elementen der Form starke Dicken-schwankungen infolge der Überlagerung der Störungen aufweisen.

Das Farbschichtdickenglättungssystem auf der Druckform, bestehend aus den Reiterwalzen B1 bis B7 und C1 bis C7, bezweckt den Abbau der Schichtdickenschwankungen.

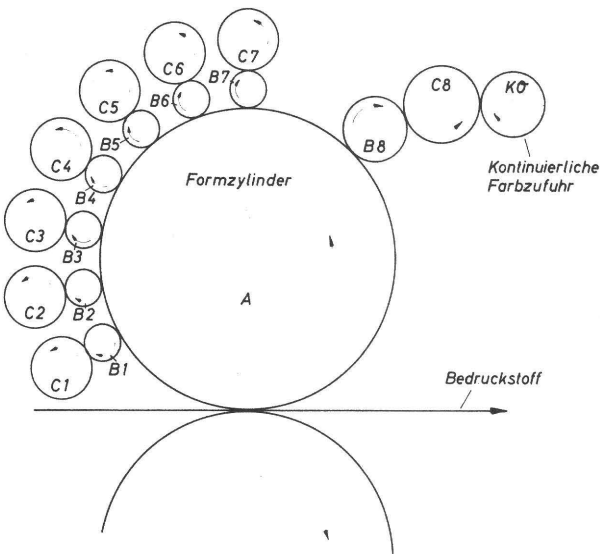


Bild 9.17: Schema der Walzenkombination 13

Um den Einfluß der Größe des Schichtdickenglättungssystems auf den Glättungseffekt zu untersuchen, wurde für die Walzenkombination 13 ein Rechenprogramm entwickelt. Dieses ist so aufgebaut, daß durch Eingabe der Steuerzahl KFALL1 die Zahl der Reitergruppen auf der Druckform variiert werden kann. Die eingangs in Kapitel 9.2 gewählten Farbübertragungskennzahlen wurden auch diesen Untersuchungen zugrundegelegt.

Bei diesen theoretischen Untersuchungen wurde definiert, daß die Reitergruppen je aus zwei Walzen bestehen. Beträgt die Steuerzahl KFALL = 1, so sind alle Reitergruppen mit dem Formzylinder in Kontakt. Bei Erhöhung des Wertes von KFALL um 1

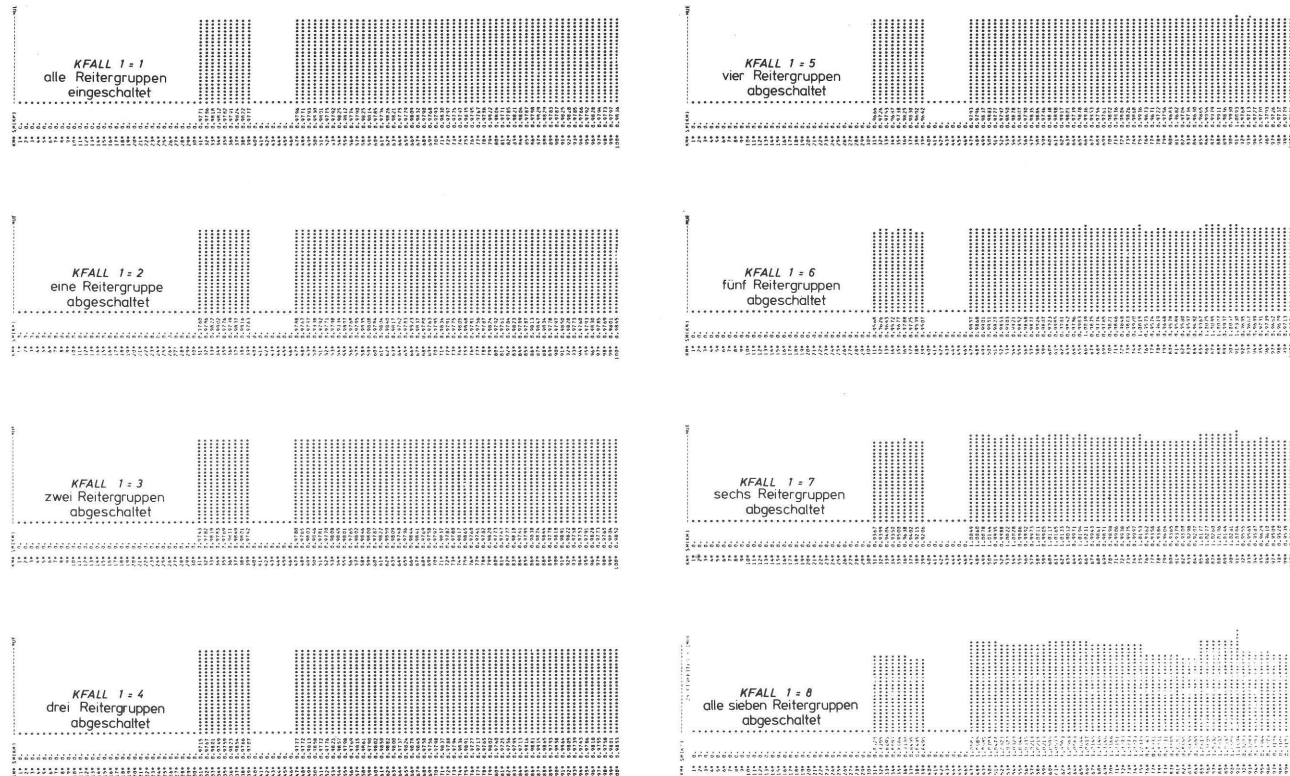


Bild 9.18: Schichtdickenverläufe der Walzenkombination 13 in Abhängigkeit von der Zahl der Reitergruppen

		KFALL 1 = 1	KFALL 1 = 2	KFALL 1 = 3	KFALL 1 = 4	KFALL 1 = 5	KFALL 1 = 6	KFALL 1 = 7	KFALL 1 = 8
KFALL 2 = 1	Maximalwert	0,983611	0,984953	0,989128	0,996358	1,00927	1,03304	1,07840	1,16945
	Minimalwert	0,976574	0,975629	0,974117	0,970677	0,963027	0,948246	0,920585	0,849481
	Ungleichförmigkeitsgrad	0,718044	0,95138969	1,53169	2,62051	4,71836	8,65297	16,1048	32,6608
	Arithmetischer Mittelwert	0,979972	0,979978	0,979980	0,979982	0,979984	0,979980	0,979938	0,979667
	Quadratischer Mittelwert	0,979975	0,979982	0,979987	0,979997	0,980025	0,980127	0,980574	0,982885
	Formfaktor E2 / E1	1,00000	1,00000	1,00001	1,00001	1,00004	1,00015	1,00065	1,00328
	Durchschnittliche Abweichung	0,00181191	0,00224883	0,00297783	0,00423115	0,00707921	0,0140085	0,0315425	0,073039
	Varianz der Schichtdicke	0,00000439317	0,00000715762	0,0000130479	0,0000287599	0,0000813162	0,000292169	0,00126588	0,00641681
	Standartabweichung	0,00209599	0,00267537	0,00361219	0,00536283	0,00901755	0,0170929	0,0355791	0,0801050
	Schichtdickenbezogene Standartabweichung	0,00213882	0,00273003	0,00368598	0,00547237	0,00920173	0,0174421	0,0363075	0,0817676
	Gütegrad	0,5137	0,5172	0,5105	0,4869	0,3891	0,3021	0,2592	0,2304

Tabelle 9.4

wird immer auch eine Reitergruppe abgeschaltet. Beträgt also $KFALL1 = 8$, so sind alle sieben Reitergruppen abgeschaltet.

Die Ergebnisse der digitalen Simulation, die Schichtdickenverläufe, sind in Bild 9.18 zusammengefaßt dargestellt.

Das günstigste Ergebnis, also der meist geglättete Schichtdickenverlauf, ist dann erreichbar, wenn alle Reitergruppen Kontakt mit dem Formzylinder besitzen ($KFALL1 = 1$). Erwartungsgemäß erhält man dann das schlechteste Ergebnis, wenn alle sieben Reitergruppen abgeschaltet sind ($KFALL1 = 8$). Eine Zusammenfassung der Kennziffern zur Beurteilung der Schichtdickenverläufe befindet sich in der Tabelle 9.4.

Trägt man den Ungleichförmigkeitsgrad über der Anzahl der Reitergruppen auf (der Anschaulichkeit wegen wieder in Kurvenform), so stellt man fest, daß mit steigender Zahl der Reitergruppen der Ungleichförmigkeitsgrad asymptotisch abfällt (Bild 9.19). Schon mit vier Reitergruppen übertrifft man das beste Ergebnis der in Kapitel 9.2 behandelten konventionellen Walzenkombinationen. Mit sieben Reitergruppen erzielt man dagegen einen Ungleichförmigkeitsgrad, der unter einem Prozent liegt.

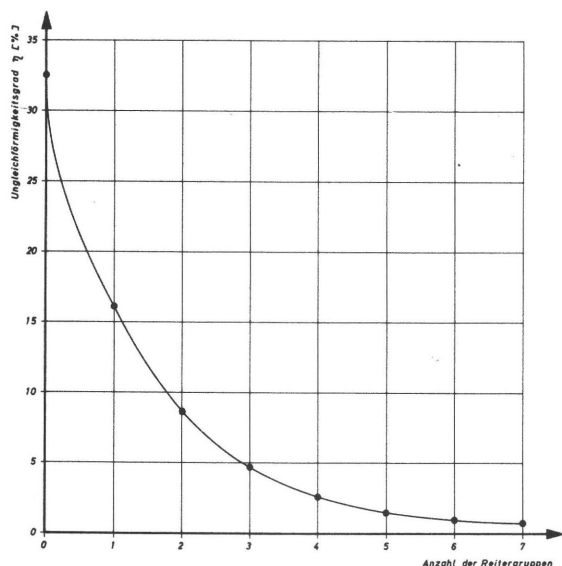


Bild 9.19: Abhängigkeit des Ungleichförmigkeitsgrades von der Zahl der Reitergruppen bei der Walzenkombination 13

Entgegen den Erwartungen zeigt es sich, daß diese Walzenkombination den Fortdruckzustand sehr schnell erreicht (Bild 9.20).

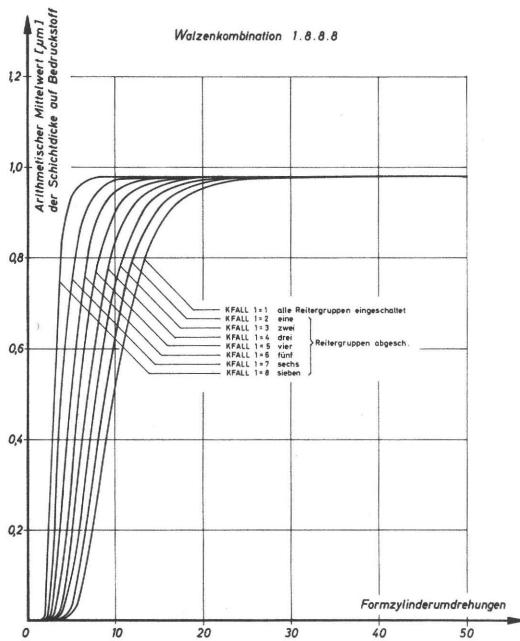


Bild 9.20:

Besitzt das Schichtdickenglättungssystem sieben Reitergruppen, so ist bereits nach 30 Formzylinderumdrehungen der Fortdruckzustand erreicht.

Bei der konstruktiven Ausbildung dieses Glättungssystems sollten ebenfalls einige der Stahlwalzen eine Changierbewegung ausüben, damit auch in Längsrichtung der Walzen eine Farbschichtdickenglättung vorhanden ist. Über die drucktechnische Eignung dieses Farbwerkes läßt sich z.Z. keine feststehende Aussage machen.

9.5 Diskussion der Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen

Nach dem heutigen Stand der Technik muß man feststellen, daß das Zweiwalzensystem und das Rakel-Walzensystem zur Bildung einer Farbschicht konstanter Dicke nicht verwendet werden können, und daß zu diesem Zweck nach wie vor Walzenfarbwerke notwendig sind,

Die theoretischen Untersuchungen haben deutlich gezeigt, daß durch günstige Wahl des Primärflusses eine deutliche Qualitätsverbesserung eines Farbwerkes erzielbar ist. Es hat sich herausgestellt, daß vorderlastige Walzenkombinationen wesentlich günstigere Kennwerte als hinterlastige Kombinationen aufweisen (siehe Kapitel 9.2).

Es hat sich bei der Untersuchung einiger konventioneller Walzenkombinationen außerdem herausgestellt, daß die Qualität einer Walzenkombination keinesfalls mit der Zahl der Farbwerkswalzen zunimmt. Im Gegenteil, es konnte an einem Beispiel (Kombination 10) gezeigt werden, daß eine Walzenkombination mit wenig Walzen weitaus bessere Ergebnisse als eine Walzenkombination mit nahezu doppelt soviel Farbwerkswalzen (Kombination 8) ergeben kann. Ein Walzenfarbwerk mit geringer Walzenzahl bringt ohne Zweifel einen merklichen Kostenvorteil.

Ferner sollte auch noch bedacht werden, daß die Gummiwalzen eines Farbwerkes einem Verschleiß unterliegen. Auch die Unterhaltungskosten einer Druckmaschine lassen sich also senken, wenn man die erforderliche Zahl der Gummiwalzen minimiert.

Die theoretischen Untersuchungen ergaben, daß der Einsatz eines Schichtdickenglätungssystems auf den Auftragswalzen oder auch auf der Druckform außerordentlich günstige Ergebnisse verspricht. Der Ungleichförmigkeitsgrad ist bei Walzenkombinationen mit Glättungssystemen (Walzenkombination 12 und Walzenkombination 13) fast eine Größenordnung kleiner als der der besten konventionellen Walzenkombination. Außerdem ist festzustellen, daß die kontinuierliche Farbzufuhr gegenüber der diskontinuierlichen wesentliche Vorteile im Hinblick auf das Anlaufverhalten besitzt. Die Anlaufzeit einer Walzenkombination mit diskontinuierlicher Farbzufuhr ist etwa doppelt so groß wie diejenige einer Walzenkombination mit kontinuierlicher Farbzufuhr.

Bedenkt man, daß die während des Anlaufvorganges gedruckten Exemplare meist als Makulatur zu werten sind, so ist die wirtschaftliche Bedeutung eines Farbwerkes mit schnellem Anlauf klar zu erkennen.

10. Zusammenfassung und Ausblick

Eigens zum Studium des Farbtransportvorganges wurde bereits 1963 — 1964 vom Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren eine universelle Modelldruckmaschine entwickelt, welche dann von namhaften Firmen der deutschen Druckmaschinenindustrie gebaut wurde. An der konstruktiven Entwicklung dieser Maschine arbeitete der Verfasser seinerzeit im Auftrag von Prof. Dr. Eschenbach mit.

Für diese kleine Modellmaschine wurde ein spezielles Farbschichtdicken-Meßsystem entwickelt. Unter Würdigung der bisherigen Dickenmeßverfahren für nichttrockene Farbfilme wurde dem photoelektrischen Meßverfahren im Auflicht der Vorzug gegeben. Dadurch wurde gewährleistet, daß die sich stellende Meßaufgabe — Erfassung der Schichtdickenverläufe auf verschiedenen Stahlwalzen und auf der Druckform — gut gelöst werden konnte. Zum Zweck der notwendigen Miniaturisierung mußten hochempfindliche Phototransistoren sowie Miniaturglühlampen zum Bau des photoelektronischen Meßwertgebers verwandt werden. Da die Ausnutzung der vollen Transistorempfindlichkeit den Betrieb bei offener Basis erforderlich macht und ferner das Meßverfahren im Einstrahlbetrieb arbeitet, war es notwendig, besondere Maßnahmen zur Eliminierung der Temperaturdrift zu treffen. Die Phototransistoren wurden deshalb in einer besonderen Thermostatisierungskammer untergebracht. Über Lichtleiter wurde das von der Miniaturlampe emittierte, und von der Farbschicht in seiner Intensität geschwächte Licht dem jeweiligen Phototransistor zugeführt. Da die photoelektronischen Meßwertgeber elektrische Signale liefern, welche keinen linearen Zusammenhang mit der Farbschichtdicke aufweisen, mußte nach vorangegangener Eichung unter Zuhilfenahme eines Analogrechners, der in diesem Fall als echter Meßwertwandler wirksam war, Proportionalität zwischen dem elektrischen Signal und der Schichtdicke hergestellt werden. Die möglichen Meßfehler als Folge der endlichen Ausdehnung der Meßfläche bei Annahme eines rechteckförmigen Schichtdickenverlaufes sowie als Folge der Unvollkommenheit der Linearisierung bei Verwendung von Diodenfunktionsgeneratoren wurden in allgemeingültiger Form untersucht. Mit dieser photoelektronischen Meßeinrichtung können die zeitlichen Verläufe der Schichtdicken auf verschiedenen Stahlreibern und auf der Druckform der Modellmaschine simultan gemessen werden.

Das Literaturstudium ergab, daß noch kein Rechenverfahren zur Ermittlung des zeitlichen bzw. örtlichen Farbschichtdickenreliefs auf dem Bedruckstoff oder auf den Walzen des Farbwerkes bekannt war. Aus diesem Grunde wurde ein eigenes theoretisches Modell hierfür entwickelt. Es erlaubt die Berücksichtigung jeder beliebigen Farbwerksgeometrie, der Art der Farbzufuhr (diskontinuierlich, kontinuierlich), der Verteilung der druckenden und nichtdruckenden Flächen auf der Druckform und der Farbübertragungszahlen. Ausgeklammert wurden bei diesen Überlegungen die Changierbewegung der Stahlreiber sowie der recht minimale Walzenschlupf.

Der Grundgedanke dieser theoretischen Überlegungen basiert auf der Transformation des Farbtransportvorganges von einem zeitkontinuierlichen System in ein zeitdiskretes, respektive Ortsdiskretes Transportsystem. Die Umfänge aller Walzen sowie des

Formzylinders und die Druckbogenlänge werden in gleichlange diskrete Schritte zerlegt. Dieser Umstand bedingt die Einführung indizierter Variablen im Gleichungssystem zur Lösung des Farbtransportes. Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen Berührungsstellen werden durch die Einführung verschiedener Indices bei ein und derselben Schichtdickenvariablen berücksichtigt.

Dieses mathematische Modell stellt praktisch eine digitale deterministische Simulation des Farbtransportes im Farbwerk dar. Ausgegangen wird bei der ersten Umdrehung von einer konstanten Schichtdicke (z.B. Null). Man durchläuft dann den Anlaufzustand und gelangt nach einer genügenden Zahl von Formzylinderumdrehungen zum Fortdruckzustand. Als Hauptresultat erhält man den orts- bzw. zeitdiskreten Schichtdickenverlauf auf der Druckform und auf dem Bedruckstoff, welche beide als einzige Größen eine Qualitätsbewertung für Farbwerke ermöglichen.

Zu diesem Zweck wurden verschiedene Kennziffern, welche man auch in der Statistik bzw. Elektrotechnik kennt, verwandt. Somit erhält man relative Bewertungskriterien, die eine Qualitätsrangfolge der analysierten Walzenkombinationen bzw. Farbwerke ermöglichen. Ferner wurden Wege für eine absolute Bewertung aufgezeigt.

Mit dem eingangs erwähnten Meßinstrumentarium sowie dem theoretischen Modell wurden vergleichende Untersuchungen durchgeführt. Die gute quantitative Übereinstimmung der gemessenen und gerechneten Schichtdickenreliefs bestätigt die theoretischen Überlegungen in überzeugender Weise.

Nachdem die Richtigkeit des theoretischen Modells zur Berechnung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken ausreichend gesichert war, wurden einige konventionelle Walzenkombinationen theoretisch untersucht. Hierbei zeigte es sich, daß vorderlastige Walzenkombinationen wesentlich günstigere Resultate aufweisen als hinterlastige Walzenkombinationen.

Es konnte außerdem gezeigt werden, daß die Qualität einer Walzenkombination nicht in jedem Fall mit der Gesamtzahl der Walzen zunimmt. Die kontinuierliche Farbzufuhr erwies sich als vorteilhafter als die diskontinuierliche nicht nur hinsichtlich der Glättung des Farbschichtdickenverlaufes auf der Druckform, sondern auch hinsichtlich des Anlaufverhaltens. So konnte gezeigt werden, daß die meisten Walzenkombinationen bei kontinuierlicher Farbzufuhr den Fortdruckzustand schon nach ca. 40 Zylinderumdrehungen erreichen, dieser sich aber bei diskontinuierlicher Farbzufuhr erst nach ca. 80 Umdrehungen einstellt.

Es wurden Wege gezeigt, wie man die Schichtdickenschwankungen auf dem Bedruckstoff gezielt bekämpfen kann. Die theoretischen Untersuchungen ergaben, daß der Einsatz eines Schichtdickenglättungssystems auf den Auftragswalzen oder auf der Druckform außerordentlich günstige Ergebnisse verspricht.

11. Literaturverzeichnis

1. Arnold, W.: „Die Einfärbequalität von Farbwerken an Druckmaschinen“, IPM Mitteilungen (1), (1968)
2. Morosow, M.G.: „Konstruktion und Berechnung polygraphischer Maschinen, Tiegel und Flachformmaschinen“, Moskau und Leningrad (1949)
3. Mill, C.C.: „An Experimental Test of a Theory of Ink Distribution“, Vortrag auf der 5. Konferenz der IARIGAI, Lehigh University, USA (1960)
4. Laraignou, R.: „Le transfer de l'encre au papier, formules diverses, applications pratiques“ Bull. Assoc. Techn. Ind. Pap. (ATIP), 14 (1960) 6
5. Walker, W.C.
Fetzko, J.M.: „A Concept of Ink Transfer in Printing“ American Ink Maker, 33 (1955) 12
6. Rupp, E.
Rieche, K.: „Beiträge zur Bedruckbarkeit von Papier und Folien“, Institut für Graphische Technik, Leipzig (1959)
7. Rupp, E.
Rieche, K.: „Die Farbübertragung im Ein- und Mehrfarbenhochdruck“, Institut für Graphische Technik, Leipzig (1963)
8. Albrecht, J.
Schirmer, K.H.: „Über die meßtechnische Druckgütebeurteilung schwarzer Illustrations-Buchdruckfarben“, FOGRA Institutsmitteilungen 1/1, München (1955)
9. Wultsch, W.
Schubert, K.: „Untersuchungen verschiedener Papiersorten mit dem FOGRA-Bedruckbarkeitsgerät“, Das Papier, 13 (1959)
10. Scheuter, K.
Rech, H.: „Die Farbübertragung im Probedruckgerät und in der laufenden Druckmaschine“, Archiv für Drucktechnik 7, (1967)
11. Rhodes, W.L.: „Der Einfluß der Offsetdrucktücher auf Druckqualität und Farbübertragung“, FOGRA-Mitteilungen Nr. 14 (1957)
12. Scheuter, K.
Rech, H.: „Zur Farbübertragung auf Offsetdrucktücher“, Jahrbuch der TH Darmstadt (1970)
13. Mill, C.C.: „The PATRA Ink Film Thickness Gauge“ PATRA Memoir of the Printing Division Nr. 52

14. Ruder, R.: „Untersuchungen zur Farbverteilung in Farbwerken von Rotationsmaschinen des Hoch- und Flachdruckes“, Dissertation T.H. Karl-Marx-Stadt, Institut für Polygrafische und Papiermaschinen (1965)
15. Schmalz, G.: „Technische Oberflächenkunde“ Springer Verlag, Berlin (1936)
16. Kohout, A.: „Zur Praxis der Oberflächenprüfung mit dem Interferenzmikroskop“, Werkstatt und Betrieb, Heft 12 (1963)
17. Kinder, W.: „Ein Mikro-Interferometer nach W. Linnik“, Zeiß-Nachrichten 2. Folge (1937)
18. Wagenbauer, K.: „Beiträge zum Druckprozeß bei Offset-Bogenrotationsmaschinen“, Dissertation T.H. Darmstadt (1959), Archiv für Druck und Papier 3, (1959)
19. Eschenbach, W.
Wagenbauer, K.: „Die interferenzmikroskopische Beurteilung von Druckfarbschichten auf nichtsaugenden Materialien“, Archiv für Druck und Papier 3, (1958)
20. Fritsch, W.: „Optische und elektronische Meßverfahren zur Farbschichtdickenmessung“, Sitzungsbericht der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., (1964)
21. Oehme, F.: „Fortschritte dielektrischer Messungen in der Analyse von Nichtelektrolyt-Systemen“, Farbe und Lack Bd. 65, 9, (1959)
22. Gamazina, Z.P.
Poljanzkij, R.N.
Solivanow, J.P.: „Dickenmessung von Kopierschichten“ Poligrafija, Moskau Nr. 9, (1964)
23. Schümmer, P.: „Ein Isotopenmeßverfahren zur Farbmengenbestimmung bei der Farbübertragung durch gerasterte Walzen“ Archiv für Drucktechnik, 11/12, (1965)
24. Schönborn, W.: „Berührungslose Dickenmessung auf der Grundlage von Durchstrahlverfahren“ Fertigungstechnik, 1, (1956)
25. Frick, R.
Hoffmann, D.: „Betriebsmeßverfahren für Flüssigkeitsschichten auf rotierenden Walzen mit Hilfe der Beta-Rückstreuung“ Maschinenbautechnik 18, Heft 5 (1969)

26. Wirz, B.: „Beiträge zum Problem der Auslegung von Farbwerken an Rotationsmaschinen des Hoch- und Flachdruckes“ Dissertation T.H. Darmstadt, (1963)
27. Kortüm, E.: „Kolorimetrie und Spektrometrie“, Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg (1962)
28. Albrecht, J., Brune, M.: „Farbgebungssteuerung im Buchdruck“ FOGRA-Mitteilungen (Nr. 61), München, (1969)
29. Ruder, R.: „Photoelektrische Farbschichtdickenbestimmung auf Farbwalzen“, Druck und Reproduktion, Nr. 3, (1964)
30. Kubelka, P., Munk, F.: „Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche“ Zeitschrift für technische Physik, Leipzig (1931)
31. Rech, H.: „Messung der Farbschichtdicke auf den Walzen einer Versuchsmaschine“ Mitteilungen der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., 9, (1965)
32. Tollenaar, D.: „Das Stäuben der Druckfarbe“, IGT-Bericht Nr. 29, 4, (1968)
33. Scheuter, K., Rech, H.: „Entwicklung eines piezoelektrischen Druckmeßsystems“, Archiv für Druck und Papier Nr. 11, (1968)
34. Charter, H., Donker, M.: „Photoelektronische Bauelemente“ Philips Technische Bibliothek, Eindhoven (1964)
35. Anonym: „Phototransistor RM3002“ Applikationsbericht der Firma A. Neye, Quickborn (1966)
36. Lax, E.: „Strahlung von als Lichtquellen benutzten Festkörpern im Temperaturgleichgewicht“, in: Landold-Börnstein „Elektrotechnik, Lichttechnik, Röntgentechnik“, Technik 3. Teil, Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg (1957)
37. Anonym: „Technische Angaben für Kleinst-Anzeigelampen“, Firma W. Albrecht KG, Bamberg (1966)
38. Anonym: „Designing with Crofon light guides“, Du Pont, Plastic Department, Wilmington USA (1968)
39. Kapany, N.S.: „Fiber Optics“ Academic Press, New York, London (1967)

40. Anonym: „TR-10 Computer Maintenance Manual“, Electronics Associates, Inc., Long Branch, New Jersey, USA
41. Ernst, D.: „Elektronische Analogrechner“, R. Oldenburg-Verlag, München (1960)
42. Anonym: „Variable Diode Function Generator 16.156“, Electronic Associates, Inc., Long Branch, New Jersey
43. Tollenaar, D.
Ernst, P.A.H.: „Optical density and ink layer thickness“ 6.th International Conference of printing research institutes, Elseneur (1961)
44. Eschenbach, W.,
Wagenbauer, K.,
Göbel, H.: „Über das dynamische Verhalten von Druckwerken“, Archiv für Druck und Papier, 2, (1964)
45. Kaufmann, C.: „Druckqualität und Farbfilmstärke auf Walzen und Form“, Polygraph, 11, (1955)
46. Stockmann, A.: „Farbmengen in Farbwerken von Druckmaschinen“, Diplomarbeit Nr. 110/62, T.H. Karl-Marx-Stadt
47. Bradford, J.R.: „Lithographic Press Ink Distribution Studies by Radio-tracer Techniques“, TAGA-Proceedings of the Sixth Annual Technical Meeting, Milwaukee USA, (1954)
48. Hull, H.H.: „The Theoretical Analysis and Practical Evolution of Roller Ink Distribution Systems“, TAGA-Proceedings, (1968)
49. Schlagner, B.: „Einfluß des Farbwerkaufbaues auf die Entstehung von Schablonen“, Druck und Reproduktion, 3, (1970)
50. Zaleski, W.
Schaeffer, W.D.
Zettlemoyer, A.C.: „An Extended Application of the Walker-Fetzko Ink transfer equation“ 10.th International conference of printing research institutes, Krems (1969)
51. Rech, H.: „Die Ermittlung der Kennzahlen der allgemeinen Farb-übertragungsgleichung“, Mitteilungen der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., 2, (1969)
53. Frick, R.: „Das Einlaufen von Farbe auf trockene Walzen“ Druck und Reproduktion, 7, (1966)

54. Frick, R.: „Dynamische Bestimmung von Farbschichtspaltungszahlen“, Druck und Reproduktion, 1, (1970)
55. Scheuter, K.,
Rech, H.: „Zur Messung und Berechnung des Farbtransportes in Walzenfarbwerken von Druckmaschinen“, Druck-Print, 4, (1970)
56. Scheuter, K.
Rech, H.: „Zur experimentellen und theoretischen Untersuchung des Farbflusses in Walzenfarbwerken“, 18th INCA-FIEJ R.I. Convention, 4, (1970)
57. Rech, H.: „Methoden zur Qualitätsbeurteilung von Farbwerken“, Mitteilungen der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., 3, (1969)
58. Mac Adam, D.L.: „Visual Sensitivities to Color Differences in Daylight“, Journal of the Optical Society of America, Volume 32, Nr. 5, May, (1942)
59. Mac Adam, D.L.: „Quality of Color Reproduction“, Proceedings of the Inst. Radio Engineers, 39, (1959)
60. Scheuter, K.
Wolf, K.: „Beitrag zur Systemtheorie der Druckverfahren“, Archiv für Drucktechnik, 2, (1969)
61. Berger, E.R.: „Informationstheoretische Grundlagen“ in: Steinbuch, K.: „Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung“, Springer Verlag, (1962)
62. Wolf, K.: „Beitrag zur Systemtheorie der Druckverfahren“, Dissertation T.H. Darmstadt, (1970)
63. Scheuter, K.
Rech, H.: „About Measurement and Computation of Ink Transfer in Roller Inking Units of Printing Presses“, TAGA-Proceedings (1970)
64. Patentauslegeschrift
12 66 315 „Farbwerk für eine Rotationsdruckmaschine“ Deutsches Patentamt München (1968)
65. Peppler, K.: „Druckübertragung an Gleit- und Wälzflächen“, VDI-Forschungsheft 391
66. Anonym: „The Chambon Dampening System“ Chambon Review 23

67. Rech, H.:

„Experimentelle und theoretische Untersuchung des Farbflusses in Walzenfarbwerken“, Mitteilungen der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., 1, (1970)

12. Lebenslauf

1.1.1937	in Stryj bei Lemberg als Sohn des Holzkaufmannes Josef Rech und seiner Ehefrau Sophie geboren.
1944	Einschulung in Bielitz/Oberschlesien
1945	Evakuierung nach Thüringen
1946 – 1951	Besuch der Grundschule in Pölzig und in Schleusingen in Thüringen
1951 – 1955	Oberschulbesuch in Schleusingen
1955	Reifeprüfung
1956 – 1959	Studium an der Hochschule für Schwermaschinenbau in Magdeburg, Vordiplom
1959	Übersiedlung in die Bundesrepublik Deutschland
1959 – 1963	Fortsetzung des Studiums an der Technischen Hochschule Darmstadt
1963	Diplomhauptprüfung
1963	Eheschließung mit Ursula Rech, geb. Hauk
seit 1964	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt
1964	Geburt des Sohnes Wolfgang
1968	Geburt des Sohnes Ingolf

Anhang zu:

Beiträge zur experimentellen und rechnerischen Untersuchung des Farbtransportes in

Walzenfarbwerken von Druckmaschinen

Inhaltsverzeichnis zu den Anlagen

Quellenprogramm der Walzenkombination 3	II
Unterprogramm RE0002	VIII
Unterprogramm RE0003	X
Systemplan der Walzenkombination 2	XI
Quellenprogramm der Walzenkombination 2	XII
Systemplan der Walzenkombination 4	XVIII
Quellenprogramm der Walzenkombination 4	XIX
Systemplan der Walzenkombination 1	XXVII
Quellenprogramm der Walzenkombination 1	XXVIII
Systemplan der Walzenkombination 9	XXXII
Quellenprogramm der Walzenkombination 9	XXXIII

II

```

$IBFTC RF30    DECK
C
C    NUMERISCHE FARBFLOSSRECHNUNG DER KOMBINATION 3
C    KONTINUIERLICH
C
C    UX,UY,VX,VY SIND ZEICHENMASSTAEBE FUER DEN GRAPHOMATEN
C    UX =35.
C    UY =35.
C    VX =20.
C    VY =20.
C
C    EINLESEN DER FARBWERKGEOMETRIE
C    IM,IA U.S.W. SIND DIE ABGEWICKELTEN UND AUFGERUNDETEN WALZENUMFAENGE
C    LA1,LA2 U.S.W. SIND DEN PHASENLAUFZEITEN
C    ENTSPRECHENDE VERSCHIEBUNGSSTRECKEN
C    READ(5,1000) IM,IA,IB1,IB2,IB3,IB4,IC1,IC2,ID1,ID2
C    READ(5,1000) IE,IF0,IF1,IG,IH1,IH2,II,IK0,LA1,LA2
C    READ(5,1000) LA3,LA4,LB1,LB2,LB3,LB4,LC11,LC12,LC13,LD1
C    READ(5,1000) LE1,LE2,LC21,LC22,LD2,LF1,LG1,LG2,LG3,LH1
C    READ(5,1001) LH2,LI
1000 FORMAT(10I5)
1001 FORMAT( 2I5)
C    NDREHZ IST DIE VORGEGEBENE ANZAHL DER
C    ZU BERECHNENDEN ZYLINDERUMDEHUNGEN
C    I IST EINE HILFSGROESSE
C    READ(5,1002) NDREHZ,I
1002 FORMAT(2I5)
C    COMMON KDR(100)
C    STEUERZAHLEN UND MASSTAEBE
1333 READ(5,1006) NTAKT,INA,KIKI,KBR,B1,B2,STA,STB,FIDA
1006 FORMAT(4I5 ,F5.1,F5.3,2A6,F5.1)
C    ALPHA2,A2,W0,XQ SIND DIE KENNZAHLEN DER WALKER-FETZKO-FORMEL
C    ALPHA1 FARBSPALTUNGSFAKTOR ZWISCHEN STAHL- UND MASSEWALZEN
C    READ(5,1005) A1,A2,ALPHA1,ALPHA2,W0,XQ
1005 FORMAT(6F6.2)
C    ANFANGSSCHICHTDICKEN FUER DIE ERSTE UMDREHUNG
C    READ(5,1004) S1,S2,S3,S4,S5
1004 FORMAT(5F10.5)
C    KDR(L) IST EINE INDIZIERTE STEUERZAHL UND GIBT DIE VERTEILUNG DER
C    DRUCKENDEN UND NICHTDRUCKENDEN ELEMENTE AUF DER FORM AN
C    READ(5,1003) (KDR(L),L =1,IA)
1003 FORMAT(20I4)
C    NO = 0
C    DIESE SCHLEIFE ERMITTELT DIE GESAMTHEIT DER NICHTDRUCKENDEN
C    ELEMENTE AUF DER FORM
C    DO 580 L = 1,IA
C    IF(KDR(L)) 581 ,581,580
581 NO = NO + 1
580 CONTINUE
C    WRITE(6,2000)
2000 FORMAT(1H1,5X,38HBERECHNUNG DER KOMBINATION 2.4.5.10.
1 120(1H*)/5X,28HDARMST.D.10.10.69..H.RECH
C    WRITE(6,2001) IM,IA,IB1,IB2,IB3,IB4,IC1,IC2,ID1,ID2
C    WRITE(6,2001) IE,IF0,IF1,IG,IH1,IH2,II,IK0,LA1,LA2
C    WRITE(6,2001) LA3,LA4,LB1,LB2,LB3,LB4,LC11,LC12,LC13,LD1
C    WRITE(6,2001) LE1,LE2,LC21,LC22,LD2,LF1,LG1,LG2,LG3,LH1
C    WRITE(6,2002) LH2,LI
2001 FORMAT(1H0,5X,10(2H**,I5,2H**))
2002 FORMAT(1H0,5X, 2(2H**,I5,2H**))
C    WRITE(6,2003)NDREHZ,I
2003 FORMAT(1H0,5X, 2(2H**,I5,2H**))
C    WRITE(6,2004)(KDR(L),L=1,IA)
2004 FORMAT(1H0,(20I4////))
C    WRITE(6,2005) S1,S2,S3,S4,S5

```

III

```

2005 FORMAT(1H0,5X,5(5X,F5.1))
WRITE(6,2006)A1,A2,ALPHA1,ALPHA2,W0,XQ
2006 FORMAT(1HC,5X,6(5X,F6.2))
WRITE(6,2007) KBR,B1,B2,STA,STB,FIDA,INA,KIKI,NTAKT
2007 FORMAT(1H0,5X,15,5X,F5.1,5X,F5.3,
1      2(5X,A6),5X,F5.1,5X,3(5X,I5))
COMMON SM(100),IM,NO,J,NDREHZ,STB
COMMON K,KK,KM,KA1,KA2,KA3,KA4,KA5,KB11,KB12,KB21,KB22,KB31,KB32
COMMON KB41,KB42,KC11,KC12,KC13,KC14,KF0,KD11,KD12,KC21,KC22,KC23
COMMON KD21,KD22,KE1,KE2,KE3,KF11,KF12,KG1,KG2,KG3,KG4,KH11,KH12
COMMON KH21,KH22,KI1,KI2,IKONA,KST,JK0,KK0
COMMON N,IA,JA,LA1,LA2,LA3,LA4,IB1,IB1,IB2,IB2,IB3,IB3,IB4,IB4,LB4
COMMON IC1,LC11,LC12,LC13,IF0,ID1,LD1,IC2,LC21,LC22,ID2,LD2,IE
COMMON LE1,LE2,IF1,LF1,IG,LG1,LG2,LG3,IH1,LH1,IH2,LH2,II,LI
COMMON ILONA,IK0,I
COMMON SAV(100),SAN5(100),SAN4(100),SAN3(100),SAN2(100),SAN1(100)
COMMON SB1V(25),SB1N1(25),SB1N2(25),SB2V(25),SB2N1(25),SB2N2(25)
COMMON SB3V(25),SB3N1(25),SB3N2(25),SB4V(25),SB4N1(25),SB4N2(25)
COMMON SC1V(50),SC1N1(50),SC1N2(50),SC1N3(50),SC1N4(50),SF0V(30)
COMMON SF0N1(30),SD1V(30),SD1N1(30),SD1N2(30),SEV(50),SEN1(50)
COMMON SEN2(50),SEN3(50),SC2V(50),SC2N1(50),SC2N2(50),SC2N3(50)
COMMON SD2V(30),SD2N1(30),SD2N2(30),SF1V(30),SF1N1(30),SF1N2(30)
COMMON SGV(70),SGN1(70),SGN2(70),SGN3(70),SGN4(70),SH1V(25)
COMMON SH1N1(25),SH1N2(25),SH2V(25),SH2N1(25),SH2N2(25),SIV(40)
COMMON SIN1(40),SIN2(40),SK0V(40),SK0N1(40),SF0N2(30)
COMMON Y1(100),Y2(100),Y3(100),Y4(100),Y5(100),Y6(100),Y7(100)
COMMON Y8(100),Y9(100),Y10(100),XA(5),YA(5),XKOR(100)
ILONA = IFIX(FLOAT(IA)*FIDA)
IY = IK0 - KBR
KIBI = JM*KIKI - ((JM*KIKI + 1)/IY)*IY
FUGU(SXX) = ALPHA *SXX
C AEUSSERE SCHLEIFE , BEI ERHOEHUNG DES ZAEHLERS J BEGINNT EINE NEUE
C UMDREHUNG DES FORMZYLINDERS
J = I -1
100 J = J +1
N = 0
101 N = N+1
JM = J
JA = J
C AUFRUF DES UNTERPROGRAMMS
C ZUR ERZEUGUNG DER ERFORDERLICHEN SCHICHTDICKENINDICES
CALL RE30ST
IF(J -I) 50,60,50
C WERTZUWEISUNG FUER DIE ERSTE UMDREHUNG
60 SGN4(KG4) = S1
SGN3(KG1) = S1
SGN2(KG2) = S1
SGN1(KG3) = S1
SH1N2(KH11) =S1
SH1N1(KH12) =S1
SH2N2(KH21) =S1
SH2N1(KH22) =S1
SIN2 (KI2) =S1
SIN1 (KI1) =S1
SF1N2(KF12) =S1
SF1N1(KF11) =S1
SEN3 (KE2) =S1
SEN2 (KE3) =S1
SEN1(KE1) =S1
SD2N2(KD22) =S1
SD2N1(KD21) =S1
SC2N3(KC23) =S1
SC2N2(KC21) =S1

```


IV

```

SC2N1(KC22) =S1
SB3N2(KB32) =S1
SB3N1(KB31) =S1
SB4N2(KB42) =S1
SB4N1(KB41) =S1
SD1N2(KD12) =S1
SD1N1(KD11) =S1
SF0N1(KF0 ) =S1
SC1N3(KC14) =S1
SC1N2(KC11) =S1
SC1N1(KC12) =S1
SC1N4(KC13) =S1
SB1N2(KB12) =S1
SB1N1(KB11) =S1
SB2N2(KB22) =S1
SB2N1(KB21) =S1
SAN5(KA5) =S1
SAN4(KA1) =S1
SAN3(KA2) =S1
SAN2(KA3) =S1
SAN1(KA4) =S1
SK0N1(KK0) = S1
C WERTZUWEISUNG FUER DIE HEBERWALZE UNTER ANNAHME KONTINUIERLICHER ZUFUHR
50 SK0V(KK0) = S2
C WERTZUWEISUNG FUER DIE NACHFOLGENDEN UMDREHUNGEN
C FUER DIE EINLAUFENDEN SCHICHTDICKEN
SAV(KA5) = SAN5(KA5)
SB1V(KB12) = SB1N2(KB12)
SB2V(KB22) = SB2N2(KB22)
SB3V(KB32) = SB3N2(KB32)
SB4V(KB42) = SB4N2(KB42)
SC1V(KC13) = SC1N4(KC13)
SC2V(KC23) = SC2N3(KC23)
SF0V(KF0) = SF0N1(KF0)
SD1V(KD12) = SD1N2(KD12)
SD2V(KD22) = SD2N2(KD22)
SE V(KE2) = SEN3(KE2)
SF1V(KF12) = SF1N2(KF12)
SGV (KG4) = SGN4(KG4)
SH1V(KH11) = SH1N2(KH11)
SH2V(KH21) = SH2N2(KH21)
SIV(KI2) = SIN2(KI2)
C LOESUNG DES GLEICHUNGSSYSTEMS FUER DEN FARBTRANSPORT
C VON DER HEBERWALZE BIS AUF DEN BEDRUCKSTOFF
SKG = SK0V(KK0) + SGV(KG4)
SK0N1(KK0) = FUGU (SKG)
SGN1(KG4) = SKG - SK0N1(KK0)
SGH2 = SH2V(KH21) + SGN1(KG3)
SH2N1(KH21) = FUGU(SGH2)
SGN2(KG3) = SGH2 -SH2N1(KH21)
SH2I = SIV(KI2) + SH2N1(KH22)
SH2N2(KH22) = FUGU(SH2I)
SIN1(KI2) = SH2I - SH2N2(KH22)
SGH1 = SGN2(KG2) +SH1V(KH11)
SH1N1(KH11) = FUGU(SGH1)
SGN3(KG2) = SGH1 -SH1N1(KH11)
SH1I = SIN1(KI1) +SH1N1(KH12)
SH1N2(KH12) = FUGU(SH1I)
SIN2(KI1) = SH1I - SH1N2(KH12)
SGF1 = SGN3(KG1) +SF1V(KF12)
SF1N1(KF12) = FUGU(SGF1)
SGN4(KG1) = SGF1 - SF1N1(KF12)
SF1E = SEV(KE2) + SF1N1(KF11)

```

```

SF1N2(KF12) = FUGU(SF1E)
SEN1(KE2) = SF1E - SF1N2(KF12)
SED1 = SEN1(KE1) + SD1V(KD12)
SD1N1(KD12) = FUGU(SED1)
SEN2(KE1) = SED1 - SD1N1(KD12)
SD1C1 = SC1V(KC13) + SD1N1(KD11)
SD1N2(KD11) = FUGU(SD1C1)
SC1N1(KC13) = SD1C1 - SD1N2(KD11)
SC1F0 = SF0V(KF0) + SC1N1(KC12)
SF0N1(KF0) = FUGU(SC1F0)
SC1N2(KC12) = SC1F0 - SF0N1(KF0)
SC1B1 = SB1V(KB12) + SC1N2(KC11)
SB1N1(KB12) = FUGU(SC1B1)
SC1N3(KC11) = SC1B1 - SB1N1(KB12)
SC1B2 = SB2V(KB22) + SC1N3(KC14)
SB2N1(KB22) = FUGU(SC1B2)
SC1N4(KC14) = SC1B2 - SB2N1(KB22)
SED2 = SD2V(KD22) + SEN2(KE3)
SD2N1(KD22) = FUGU(SED2)
SEN3(KE3) = SED2 - SD2N1(KD22)
SD2C2 = SC2V(KC23) + SD2N1(KD21)
SD2N2(KD21) = FUGU(SD2C2)
SC2N1(KC23) = SD2C2 - SD2N2(KD21)
SC2B3 = SB3V(KB32) + SC2N1(KC22)
SB3N1(KB32) = FUGU(SC2B3)
SC2N2(KC22) = SC2B3 - SB3N1(KB32)
SC2B4 = SB4V(KB42) + SC2N2(KC21)
SB4N1(KB42) = FUGU(SC2B4)
SC2N3(KC21) = SC2B4 - SB4N1(KB42)
IF(KDR(KA5)) 70,70,71
70 SAN1(KA5) = 0.
   SB4N2(KB41) = SB4N1(KB41)
   GOTO 72
71 SB4A = SAV(KA5) + SB4N1(KB41)
   SB4N2(KB41) = FUGU(SB4A)
   SAN1(KA5) = SB4A - SB4N2(KB41)
72 IF(KDR(KA4)) 80,80,81
80 SAN2(KA4) = 0.
   SB3N2(KB31) = SB3N1(KB31)
   GOTO 82
81 SB3A = SB3N1(KB31) + SAN1(KA4)
   SB3N2(KB31) = FUGU(SB3A)
   SAN2(KA4) = SB3A - SB3N2(KB31)
82 IF(KDR(KA3)) 90,90,91
90 SAN3(KA3) = 0.
   SB2N2(KB21) = SB2N1(KB21)
   GOTO 92
91 SB2A = SB2N1(KB21) + SAN2(KA3)
   SB2N2(KB21) = FUGU(SB2A)
   SAN3(KA3) = SB2A - SB2N2(KB21)
92 IF(KDR(KA2)) 93,93,94
93 SAN4(KA2) = 0.
   SB1N2(KB11) = SB1N1(KB11)
   GOTO 95
94 SB1A = SAN3(KA2) + SB1N1(KB11)
   SB1N2(KB11) = FUGU(SB1A)
   SAN4(KA2) = SB1A - SB1N2(KB11)
95 IF(KDR(KA1)) 220,220,221
220 SM(KM) = 0.
   SAN5(KA1) = SAN4(KA1)
   GOTO 4000
221 Q1 = (-SAN4(KA1)/WO)
   Q2 = (1. - (EXP(Q1)))*WO

```

VI

```

Q3          =(A2* SAN4(KA1))*XQ
Q4          = 1. -(EXP(-Q3))
SM(KM)      = Q4*(Q2 +ALPHA2 *(SAN4(KA1)-Q2))
SAN5(KA1)   = SAN4(KA1) - SM(KM)
4000 IF(J -NDREHZ) 201,200,201
200 Y1(KM)   =SM(KM)*B1 +UY
Y2(KM)      =SAN5(KA1)*B1 +UY
Y3(KM)      =SAN4(KA1)*B1 +UY
XKOR(KM)    =FLOAT(KM)*B2 +UX
201 KY      = J -(J/NTAKT)*NTAKT
IF(KY)      37,36,37
36 WRITE(6,2305) SAV(KA1),SAN1(KA1),SAN2(KA1),SAN3(KA1),SAN4(KA1),
1 SAN5(KA1),SM(KM)
2305 FORMAT(7F10.5)
37 IF(N-IA)101,106,106
C   IM UNTERPROGRAMM RE0002 WERDEN DIE
C   IN KAP. 6.3 ERLAEUTERTEN KENNZIFFERN GEBILDET
106 CALL RE0002
IF(J -NDREHZ) 100,107,107
107 CALL Z ANF F (STA,700.,300.,1.,1.)
XA(1) = UX
YA(1) = UY
XA(2) = UX +FLOAT(IA)*B2
YA(2) = YA(1)
XA(3) = XA(2)
YA(3) = YA(1)+250.
XA(4) = XA(1)
YA(4) = YA(3)
XA(5) = XA(1)
YA(5) = YA(1)
CALL Z PUL F (XA,YA,5,3)
CALL Z PKT F3 (XKOR,Y1,IA,3)
CALL Z END F
C   IM UNTERPROGRAMM RE0003 WERDEN DIE
C   IN KAP. 6.4.2 ERLAEUTERTEN KENNZIFFERN GEBILDET
CALL RE0003
GOTO 333
END

```

```

$IBFTC RE30ST  DECK
SUBROUTINE RE30ST
COMMON KDR(100)
COMMON SM(100),IM,NO,J,NDREHZ,STB
COMMON K, KK, KM, KA1, KA2, KA3, KA4, KA5, KB11, KB12, KB21, KB22, KB31, KB32
COMMON KB41, KB42, KC11, KC12, KC13, KC14, KF0, KD11, KD12, KC21, KC22, KC23
COMMON KD21, KD22, KE1, KE2, KE3, KF11, KF12, KG1, KG2, KG3, KG4, KH11, KH12
COMMON KH21, KH22, KI1, KI2, IKONA, KST, JK0, KK0
COMMON N, IA, JA, LA1, LA2, LA3, LA4, IB1, LB1, IB2, LB2, IB3, LB3, IB4, LB4
COMMON IC1, LC11, LC12, LC13, IF0, ID1, LD1, IC2, LC21, LC22, ID2, LD2, IE
COMMON LE1, LE2, IF1, LF1, IG, LG1, LG2, LG3, IH1, LH1, IH2, LH2, II, LI
COMMON ILCNA, IK0, I
K      =N +IA*(JA-I)
KK     =K- 1
KFUK1(IX)= K-IX*(KK/IX)
KFUK2(LX,IX) = K +LX -((KK+LX)/IX)*IX
KM      =N
KA1      =N
KA2      = KFUK2( LA1,IA)
KA3      = KFUK2( LA2,IA)
KA4      = KFUK2( LA3,IA)
KA5      = KFUK2( LA4,IA)
KB11     = KFUK1( IB1)
KB12     = KFUK2( LB1,IB1)
KB21     = KFUK1( IB2)
KB22     = KFUK2( LB2,IB2)
KB31     = KFUK1( IB3)
KB32     = KFUK2( LB3,IB3)
KB41     = KFUK1( IB4)
KB42     = KFUK2( LB4,IB4)
KC11     = KFUK1( IC1)
KC12     = KFUK2( LC11,IC1)
KC13     = KFUK2( LC12,IC1)
KC14     = KFUK2( LC13,IC1)
KF0      = KFUK1( IF0)
KD11     = KFUK1( ID1)
KD12     = KFUK2( LD1,ID1)
KC21     = KFUK1( IC2)
KC22     = KFUK2( LC21,IC2)
KC23     = KFUK2( LC22,IC2)
KD21     = KFUK1( ID2)
KD22     = KFUK2( LD2,ID2)
KE1      = KFUK1( IE)
KE2      = KFUK2( LE1,IE)
KE3      = KFUK2( LE2,IE)
KF11     = KFUK1( IF1)
KF12     = KFUK2( LF1,IF1)
KG1      = KFUK1( IG)
KG2      = KFUK2( LG1,IG)
KG3      = KFUK2( LG2,IG)
KG4      = KFUK2( LG3,IG)
KH11     = KFUK1( IH1)
KH12     = KFUK2( LH1,IH1)
KH21     = KFUK1( IH2)
KH22     = KFUK2( LH2,IH2)
KI1      = KFUK1( II)
KI2      = KFUK2( LI,II)
IKONA    = KK/ILONA
KST      = K -IKONA*ILONA
JK0      = (KST-1)/IK0
KK0      = KST - JK0*IK0
RETURN
END

```

VIII

```

$IBFTC RE0002
SUBROUTINE RE0002
COMMON KDR(100)
COMMON SM(100),IM,NO,J,NDREHZ,STB
SMI1      =1000.
SMA1      = 0.
SA1       = 0.
SA2       =0.
DO 230 KM = 1,IM
IF(KDR(KM)) 230,230,231
231 SA1     = SA1+ SM(KM)
    SA2     = SA2 +SM(KM)*SM(KM)
    SMI1    = AMIN1(SMI1,SM(KM))
    SMA1    = AMAX1(SMA1,SM(KM))
230 CONTINUE
SRD       = FLOAT(IM - NO)
E1        = SA1/ SRD
E2        = SQRT(SA2/SRD)
XFORM     = E2 / E1
ETA1 = (SMA1 -SMI1)*100./E1
ZWIKI1    =0.
ZWIKI2    =0.
DO 240 KM = 1,IM
IF(KDR(KM)) 240,240,241
241 XMORFO = ABS(SM(KM) -E1)
    ZWIKI1 = ZWIKI1 +XMORFO
    ZWIKI2 = ZWIKI2 +XMORFO* XMORFO
240 CONTINUE
DUAB      = ZWIKI1 /FLOAT(IM-NO)
QUSTA     =ZWIKI2 /FLOAT(IM -NO+1)
SUSTA     =SQRT(QUSTA)
WRITE(6,3344) J,SMA1,SMI1,ETA1,E1,E2,XFORM
3344 FORMAT(10X, 30HUMDREHUNG DES FORMZYLINDERS , 15/10X,
1 80(1H-)/10X, 30HMAXIMALWERT..... , E12.6 / 10X,
2 80(1H-)/10X, 30HMINIMALWERT..... , E12.6 / 10X,
3 80(1H-)/10X, 30HUNGLEICHFOERMIGKEITSGRAD..... , E12.6 / 10X,
4 80(1H-)/10X, 30HARITHMETISCHER MITTELWERT..... , E12.6 / 10X,
5 80(1H-)/10X, 30HQADRATISCHER MITTELWERT..... , E12.6/10X,
6 80 (1H-)/10X, 30HFORMFAKTOR E2/E1 ..... , E12.6/10X,
7 80(1H-))
WRITE(6,3345)DUAB,QUSTA,SUSTA
3345 FORMAT(10X, 30HDURCHSCHNITTICHE ABWEICHUNG.., E12.6/10X,
1 80(1H-)/10X, 30HVARIANZ DER SCHICHTDICKE..... , E12.6 / 10X,
2 80(1H-)/10X, 30HSTANDARTABWEICHUNG..... , E12.6/10X,
3 100(1H*))
IF(J-NDREHZ) 370,371,371
370 CONTINUE
RETURN
371 CONTINUE
DIMENSION SPALTE (110), SPANNE (110)
DATA STERN,ZMINUS/ 1H*,1H- /
DO 7 IMINUS = 1,110
7 SPALTE(IMINUS) = ZMINUS
DO 8 ISTERN = 1,110
8 SPANNE(ISTERN) = STERN
IF(SMA1 - 4.) 114,114,115
114 FAKT = 25.
GOTO 109
115 FAKT = 10.
109 NMUE = IFIX(FAKT)
WRITE(6,3050) STB
3050 FORMAT(1H1,5X,28H BERECHNUNG DER KOMBINATION , 2X,A6)
WRITE(6,3051)

```

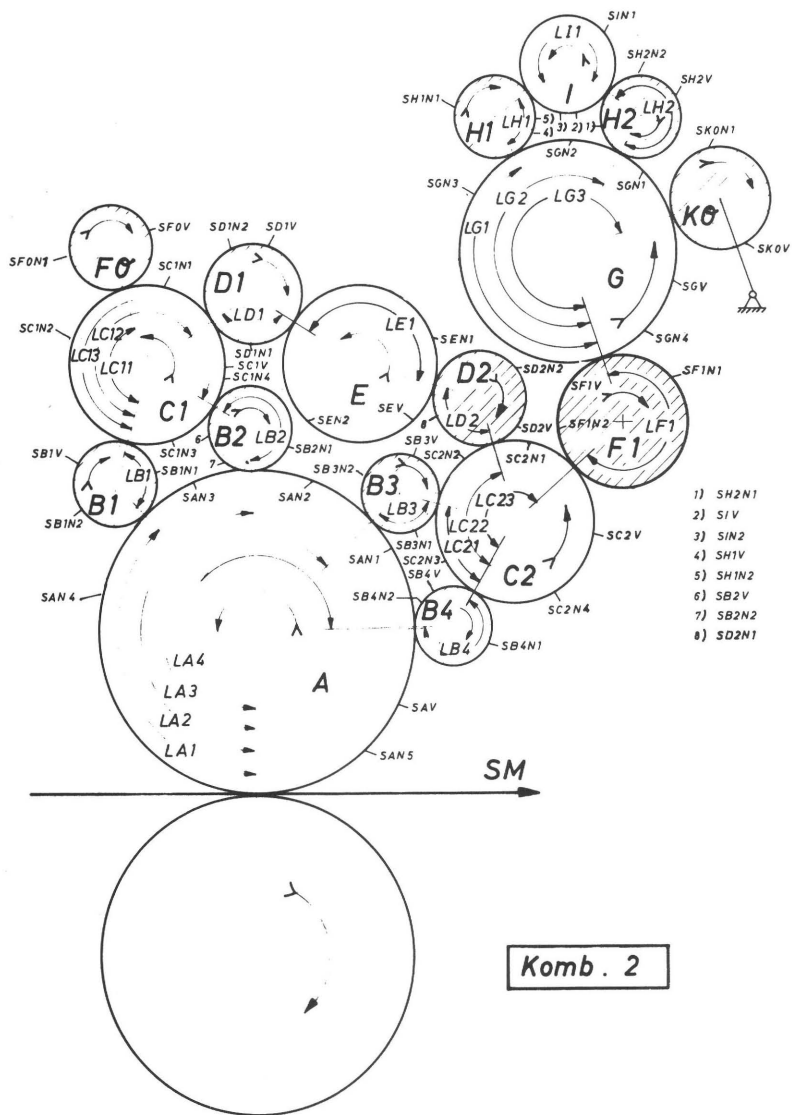
IX

```
3051 FORMAT(20X,45HAUF DEN BEDRUCKSTOFF UEBERTRAGENE FARBSCHICHT
1 130(1H*) )
WRITE(6,3052) (SPALTE(IMINUS),IMINUS = 1,NMUE)
3052 FORMAT(6H KM*,9H SM(KM) ,110A1)
WRITE(6,3040) NMUE
3040 FORMAT(20X,15,19H EINHEITEN = 1MUE )
DO 444 KM = 1,IM
NKOR = IFIX(FAKT* SM(KM))
WRITE(6,3053) KM,SM(KM),(SPANNE(ISTERN) , ISTERN =1,NKOR)
3053 FORMAT(15,1H*,F8.4,1X,110A1)
444 CONTINUE
RETURN
END
```

```

$IBFTC XE0003 DECK
SUBROUTINE RE0003
  S0      = 1.
  XMOD    = 0.69313
  DUN     = 2.00
  XPO     = 1.00
  MD      = 1
  COMMON KDR(100)
  COMMON SM(100),IM,NO,J,NDREHZ,STB
  DIMENSION DICHT(100)
  DMAX    = 0.
  DMIN    = 1000.
  DO 20 KM = 1,IM
    IF(SM(KM)) 20,20,21
21  DICHT(KM) = DUN*(1.-(EXP(-XPO*SM(KM))))
    DMAX = AMAX1(DMAX,DICHT(KM))
    DMIN = AMIN1(DMIN,DICHT(KM))
20  CONTINUE
    MI = IFIX(100.*DMIN) -(MD*2)
    MA = IFIX(100.*DMAX)+(MD*2)
    MDIF = (MA - MI)/MD
    WRITE(6,2000) MI,MA,MDIF
    KLK = 0
    DIMENSION KULI(200)
    DO 30 KLM = MI,MA,MD
      KLK = KLK+1
      KOW = 0
      DO 40 KM = 1,IM
        MORPH = IFIX(100.*DICHT(KM))
        IF(MORPH - KLM) 40,41,40
41  KOW = KOW + 1
40  CONTINUE
      KULI(KLK) = KOW
      WRITE(6,2001) KLK,KULI(KLK)
30  CONTINUE
    SAGA = 0.
    NANA = IM - NO
    DO 50 KLK = 1,MDIF
      IF(KULI(KLK)) 50,50,51
51  XPV = FLOAT(KULI(KLK))/FLOAT(NANA)
      XDP = (ALOG(XPV))/XMOD
      XIN = (-XPV*XDP)
      SAGA = SAGA + XIN
      WRITE(6,2002) XPV,XDP,XIN,SAGA
50  CONTINUE
2000 FORMAT(3I10)
2001 FORMAT(2I10)
2002 FORMAT(4F10.5)
    ETAINF = S0/(S0+SAGA)
    WRITE(6,3355) SAGA,ETAINF
3355 FORMAT(5X,120(1H-)/2(5X,F10.4)/5X,120(1H-))
    RETURN
  END

```



XII

```

$IBFTC RF31      DECK
C
C      NUMERISCHE FARBFLOSSRECHNUNG DER KOMBINATION 2
C      VARIANTE 1
C      KONTINUIERLICH
C      UX,UY,VX,VY SIND ZEICHENMASSTAEBE FUER DEN GRAPHOMATEN
      UX= 35.
      UY= 35.
      VX= 20.
      VY= 20.
C      EINLESEN DER FARBWERKGEOMETRIE
C      IM,IA U.S.W. SIND DIE ABGEWICKELTEN UND AUFRUNDETEN WALZENUMFAENGE
C      LA1,LA2 U.S.W. SIND DEN PHASENLAUFZEITEN
C      ENTSPRECHENDE VERSCHIEBUNGSSTRECKEN
      READ(5,1000) IM,IA,IB1,IB2,IB3,IB4,IC1,IC2,ID1,ID2
      READ(5,1000) IF0,IE,IF1,IG,IH1,IH2,II,IK0,LA1,LA2
      READ(5,1000) LA3,LA4,LB1,LB2,LB3,LB4,LC11,LC12,LC13,LD1
      READ(5,1000) LE ,LD2,LC21,LC22,LC23,LF1,LG1,LG2,LG3,LI
      READ(5,1001) LH1,LH2
1000  FORMAT(10I5)
1001  FORMAT( 2I5)
C      NDREHZ IST DIE VORGEGEBENE ANZAHL DER
C      ZU BERECHNENDEN ZYLINDERUMDEHUNGEN
C      I IST EINE HILFSGROESSE
      READ(5,1050)NDREHZ,I
1050  FORMAT(2I5)
      COMMON      KDR(100)
C      STEUERZAHLEN UND MASSTAEBE
333  READ(5,1005) NTAKT,INA,KIKI,KBR,B1,B2,STA,STB,FIDA
1005  FORMAT(4I5 ,F5.1,F5.3,2A6,F5.1)
C      ALPHA2,A2,W0,XQ SIND DIE KENNZAHLEN DER WALKER-FETZKO-FORMEL
C      ALPHA1 FARBPALTUNGSFAKTOR ZWISCHEN STAHL- UND MASSEWALZEN
      READ(5,1003) A1,A2,ALPHA1,ALPHA2,W0,XQ
1003  FORMAT(6F6.2)
C      ANFANGSSCHICHTDICKEN FUER DIE ERSTE UMDREHUNG
      READ(5,1004) S1,S2,S3,S4,S5
1004  FORMAT(5F10.5)
C      KDR(L) IST EINE INDIZIERTE STEUERZAHL UND GIBT DIE VERTEILUNG DER
C      DRUCKENDEN UND NICHTDRUCKENDEN ELEMENTE AUF DER FORM AN
      READ(5,1002) (KDR(L),L=1,IA)
1002  FORMAT( 20I4)
      NO =0
C      DIESE SCHLEIFE ERMITTELT DIE GESAMTHEIT DER NICHTDRUCKENDEN
C      ELEMENTE AUF DER FORM
      DO 580 L= 1,IA
      IF(KDR(L)) 581,581,580
581  NO =NO +1
580  CONTINUE
      WRITE(6,2000)
2000  FORMAT(1H1,10X,40HBERECHNUNG DER KOMBINATION 1.4.5.10. /
1 120(1H*)/10X,30H DARMST.D.13.10.69...H.RECH )
      WRITE(6,2001) IM,IA,IB1,IB2,IB3,IB4,IC1,IC2,ID1,ID2
      WRITE(6,2001) IF0,IE,IF1,IG,IH1,IH2,II,IK0,LA1,LA2
      WRITE(6,2001) LA3,LA4,LB1,LB2,LB3,LB4,LC11,LC12,LC13,LD1
      WRITE(6,2001) LE ,LD2,LC21,LC22,LC23,LF1,LG1,LG2,LG3,LI
      WRITE(6,2002) LH1,LH2
      WRITE(6,2002) NDREHZ,I
      WRITE(6,2004) (KDR(L),L=1,IA)
      WRITE(6,2005) A1,A2,ALPHA1,ALPHA2,W0,XQ
      WRITE(6,2006) S1,S2,S3,S4,S5
      WRITE(6,2007) NTAKT,INA,KIKI,KBR,B1,B2,STA,STB,FIDA
2001  FORMAT(1H0,5X,10(2H**,I5,2H**))
2002  FORMAT(1H0,5X,2(2H**,I5,2H**))

```

```

2004 FORMAT(1H0,(5X,20I4))
2005 FORMAT(1H0,6(5X,F6.2))
2006 FORMAT(1H0,5(5X,F5.1))
2007 FORMAT(1H0,5X,4(5X,I5),
1 5X,F5.1, 5X,F6.3, 2(5X,A6),5X,F7.2)
COMMON SM(100),IM,NO,J,NDREHZ,STB
COMMON K,KK,KM,KA1,KA2,KA3,KA4,KA5,KB11,KB12,KB21,KB22,KB31,KB32
COMMON KB41,KB42,KC11,KC12,KC13,KC14,KF0,KD11,KD12,KE1,KE2,KD21
COMMON KD22,KC21,KC22,KC23,KC24,KF11,KF12,KG1,KG2,KG3,KG4,KH11
COMMON KH12,KH21,KH22,KI1,KI2,IKONA,KST,JK0,KK0
COMMON N,IA,JA,I,LA1,LA2,LA3,LA4,IB1,LB1,IB2,LB2,IB3,LB3,IB4,LB4
COMMON IC1,LC11,LC12,LC13,IF0,ID1,LD1,IE,LE,ID2,LD2,IC2,LC21,LC22
COMMON LC23,IF1,LF1,IG,LG1,LG2,LG3,IH1,LH1,IH2,LH2,II,LI,ILONA,IK0
COMMON SAN5(100),SAN4(100),SAN3(100),SAN2(100),SAN1(100)
COMMON SAV(100),SB1V(25),SB1N1(25),SB1N2(25),SB2V(25),SB2N1(25)
COMMON SB2N2(25),SB3V(25),SB3N1(25),SB3N2(25),SB4V(25),SB4N1(25)
COMMON SB4N2(25),SC1V(50),SC1N4(50),SC1N3(50),SC1N2(50),SC1N1(50)
COMMON SF0V(30),SF0N1(30),SD1V(30),SD1N1(30),SD1N2(30),SEV(50)
COMMON SEN1(50),SEN2(50),SD2V(30),SD2N1(30),SD2N2(30),SC2V(50)
COMMON SC2N4(50),SC2N3(50),SC2N2(50),SC2N1(50),SF1V(50),SF1N1(50)
COMMON SFIN2(50),SGV(70),SGN4(70),SGN3(70),SGN2(70),SGN1(70)
COMMON SH1V(25),SH1N1(25),SH1N2(25),SH2V(25),SH2N1(25),SH2N2(25)
COMMON SIV(30),SIN1(30),SIN2(30),SK0V(40),SK0N1(40),XA(5),YA(5)
COMMON Y1(100),Y2(100),Y3(100),Y4(100),Y5(100),Y6(100),Y7(100)
COMMON Y8(100),Y9(100),Y10(100),XKOR(100)
IY = IK0 - KBR
ILONA = IFIX(FLOAT(IA)*FIDA)
FUGU(SXX) = ALPHA1*SXX
C AEUSSERE SCHLEIFE , BEI ERHOEHUNG DES ZAEHLERS J BEGINNT EINE NEUE
C UMDREHUNG DES FORMZYLINDERS
J = I -1
100 J = J +1
JA = J
JM = J
KIRI = JM*KIKI - ((JM*KIKI+1)/IY)*IY
N = 0
101 N = N+1
C AUFRUF DES UNTERPROGRAMMS
C ZUR ERZEUGUNG DER ERFORDERLICHEN SCHICHTDICKENINDICES
CALL RE31ST
IF(J -1) 50,60,50
C WERTZUWEISUNG FUER DIE ERSTE UMDREHUNG
60 SGN4(KG4) = S1
SGN1(KG3) = S1
SGN2(KG2) = S1
SGN3(KG1) = S1
SH2N2(KH21) = S1
SH2N1(KH22) = S1
SH1N2(KH11) = S1
SH1N1(KH12) = S1
SIN2(KI2) = S1
SIN1(KI1) = S1
SF1N2(KF12) = S1
SF1N1(KF11) = S1
SC2N4(KC24) = S1
SC2N3(KC21) = S1
SC2N2(KC22) = S1
SC2N1(KC23) = S1
SD2N2(KD22) = S1
SD2N1(KD21) = S1
SEN2(KE2) = S1
SEN1(KE1) = S1
SD1N2(KD12) = S1

```

XIV

SD1N1(KD11) =S1
 SC1N4(KC13) =S1
 SC1N3(KC14) =S1
 SC1N2(KC11) =S1
 SC1N1(KC12) =S1
 SF0N1(KF0) =S1
 SB1N2(KB12) =S1
 SB1N1(KB11) =S1
 SB2N2(KB22) =S1
 SB2N1(KB21) =S1
 SB3N2(KB32) =S1
 SB3N1(KB31) =S1
 SB4N2(KB42) =S1
 SB4N1(KB41) =S1
 SAN5(KA5) =S1
 SAN4(KA1) =S1
 SAN3(KA2) =S1
 SAN2(KA3) =S1
 SAN1(KA4) =S1

C WERTZUWEISUNG FUER DIE HEBERWALZE UNTER ANNAHME KONTINUIERLICHER ZUFUHR

50 SK0V(KK0) = S2

C WERTZUWEISUNG FUER DIE NACHFOLGENDEN UMDREHUNGEN

C FUER DIE EINLAUFENDEN SCHICHTDICKEN

SGV (KG4) = SGN4(KG4)
 SH2V(KH21) = SH2N2(KH21)
 SH1V(KH11) = SH1N2(KH11)
 SIV(KI2) = SIN2(KI2)
 SF1V(KF12) = SF1N2(KF12)
 SC2V(KC24) = SC2N4(KC24)
 SD2V(KD22) = SD2N2(KD22)
 SEV(KE2) = SEN2(KE2)
 SD1V(KD12) = SD1N2(KD12)
 SC1V(KC13) = SC1N4(KC13)
 SF0V(KF0) = SF0N1(KF0)
 SB1V(KB12) = SB1N2(KB12)
 SB2V(KB22) = SB2N2(KB22)
 SB3V(KB32) = SB3N2(KB32)
 SB4V(KB42) = SB4N2(KB42)
 SAV(KA5) = SAN5(KA5)

C LOESUNG DES GLEICHUNGSSYSTEMS FUER DEN FARBTRANSPORT

C VON DER HEBERWALZE BIS AUF DEN BEDRUCKSTOFF

SK0G = SK0V(KK0) +SGV(KG4)
 SK0N1(KK0) = FUGU(SK0G)
 SGN1(KG4) = SK0G - SK0N1(KK0)
 SGH2 = SGN1(KG3) + SH2V(KH21)
 SH2N1(KH21) = FUGU(SGH2)
 SGN2(KG3) = SGH2 - SH2N1(KH21)
 SGH1 = SGN2(KG2) +SH1V(KH11)
 SH1N1(KH11) = FUGU(SGH1)
 SGN3(KG2) = SGH1 -SH1N1(KH11)
 SH2I = SIV(KI2) + SH2N1(KH22)
 SH2N2(KH22) = FUGU(SH2I)
 SIN1(KI2) = SH2I - SH2N2(KH22)
 SH1I = SIN1(KI1) + SH1N1(KH12)
 SH1N2(KH12) = FUGU(SH1I)
 SIN2(KI1) = SH1I - SH1N2(KH12)
 SGF1 = SGN3(KG1) + SF1V(KF12)
 SF1N1(KF12) =FUGU(SGF1)
 SGN4(KG1) = SGF1 - SF1N1(KF12)
 SF1C2 = SC2V(KC24) + SF1N1(KF11)
 SF1N2(KF11) = FUGU(SF1C2)
 SC2N1(KC24) = SF1C2 - SF1N2(KF11)
 SC2D2 = SD2V(KD22) +SC2N1(KC23)

```

SD2N1(KD22) = FUGU(SC2D2)
SC2N2(KC23) = SC2D2 - SD2N1(KD22)
SC2B3 = SC2N2(KC22) + SB3V(KB32)
SB3N1(KB32) = FUGU(SC2B3)
SC2N3(KC22) = SC2B3 - SB3N1(KB32)
SC2B4 = SC2N3(KC21) + SB4V(KB42)
SB4N1(KB42) = FUGU(SC2B4)
SC2N4(KC21) = SC2B4 - SB4N1(KB42)
SD2E = SEV(KE2) + SD2N1(KD21)
SD2N2(KD21) = FUGU(SD2E)
SEN1(KE2) = SD2E - SD2N2(KD21)
SED1 = SEN1(KE1) + SD1V(KD12)
SD1N1(KD12) = FUGU(SED1)
SEN2(KE1) = SED1 - SD1N1(KD12)
SD1C1 = SC1V(KC13) + SD1N1(KD11)
SD1N2(KD11) = FUGU(SD1C1)
SC1N1(KC13) = SD1C1 - SD1N2(KD11)
SC1F0 = SF0V(KF0) + SC1N1(KC12)
SF0N1(KF0) = FUGU(SC1F0)
SC1N2(KC12) = SC1F0 - SF0N1(KF0)
SC1B1 = SB1V(KB12) + SC1N2(KC11)
SB1N1(KB12) = FUGU(SC1B1)
SC1N3(KC11) = SC1B1 - SB1N1(KB12)
SC1B2 = SC1N3(KC14) + SB2V(KB22)
SB2N1(KB22) = FUGU(SC1B2)
SC1N4(KC14) = SC1B2 - SB2N1(KB22)
IF(KDR(KA5)) 70,70,71
70 SAN1(KA5) = 0.
SB4N2(KB41) = SB4N1(KB41)
GOTO 72
71 SB4A = SAV(KA5) + SB4N1(KB41)
SB4N2(KB41) = FUGU(SB4A)
SAN1(KA5) = SB4A - SB4N2(KB41)
72 IF(KDR(KA4)) 80,80,81
80 SAN2(KA4) = 0.
SB3N2(KB31) = SB3N1(KB31)
GOTO 82
81 SB3A = SAN1(KA4) + SB3N1(KB31)
SB3N2(KB31) = FUGU(SB3A)
SAN2(KA4) = SB3A - SB3N2(KB31)
82 IF(KDR(KA3)) 90,90,91
90 SAN3(KA3) = 0.
SB2N2(KB21) = SB2N1(KB21)
GOTO 92
91 SB2A = SAN2(KA3) + SB2N1(KB21)
SB2N2(KB21) = FUGU(SB2A)
SAN3(KA3) = SB2A - SB2N2(KB21)
92 IF(KDR(KA2)) 130,130,131
130 SAN4(KA2) = 0.
SB1N2(KB11) = SB1N1(KB11)
GOTO 132
131 SB1A = SB1N1(KB11) + SAN3(KA2)
SB1N2(KB11) = FUGU(SB1A)
SAN4(KA2) = SB1A - SB1N2(KB11)
132 IF(KDR(KA1)) 140,140,141
140 SM(KM) = 0.
SAN5(KA1) = SAN4(KA1)
GOTO 4000
141 Q1 = (-SAN4(KA1)/W0)
Q2 = (1. - (EXP(Q1)))*W0
Q3 = (A2*SAN4(KA1))*XQ
Q4 = 1. - (EXP(-Q3))
SM(KM) = Q4 * (Q2 + ALPHA2*(SAN4(KA1) - Q2))

```

XVI

```

      SAN5(KA1)      =  SAN4(KA1) - SM(KM)
4000 IF( J -NDREHZ)  201,200,201
      Y1(KM)         =  SM (KM)      *B1 + UY
      Y2(KM)         =  SAN5(KA1)    *B1
      Y3(KM)         =  SAN4(KA1)    *B1
      XKOR(KM)       =  FLOAT(KM)    *B2 +UX
      201 KY         =  JM -(JM/NTAKT)*NTAKT
      IF(KY)         37,36,37
      36 WRITE(6,2301) SAV(KA1),SAN1(KA1),SAN2(KA1),SAN3(KA1),SAN4(KA1),
      1 SAN5(KA1),SM(KM)
2301 FORMAT(7F10.5)
      37 IF(N - IA) 101,106,106
C      IM UNTERPROGRAMM RE0002 WERDEN DIE
C      IN KAP. 6.3 ERLAEUTERTEN KENNZIFFERN GEBILDET
      106 CALL RE0002
      IF(J -NDREHZ) 100,107,107
      107 CALL Z ANF F (STA,700.,300.,1.,1.)
      XA(1) = UX
      YA(1) = UY
      XA(2) = UX +FLOAT(IA)*B2
      YA(2) = YA(1)
      XA(3) = XA(2)
      YA(3) = YA(1)+250.
      XA(4) = XA(1)
      YA(4) = YA(3)
      XA(5) = XA(1)
      YA(5) = YA(1)
      CALL Z POL F (XA,YA,5,3)
      CALL Z PKT F3 (XKOR,Y1,IA,3)
      CALL Z END F
C      IM UNTERPROGRAMM RE0003 WERDEN DIE
C      IN KAP. 6.4.2 ERLAEUTERTEN KENNZIFFERN GEBILDET
      CALL RE0003
      GOTO 333
      END
```

\$IBFTC RE31ST DECK

SUBROUTINE RE31ST

COMMON KDR(100)

COMMON SM(100),IM,NO,J,NDREHZ,STB

COMMON K, KK, KM, KA1, KA2, KA3, KA4, KA5, KB11, KB12, KB21, KB22, KB31, KB32

COMMON KB41, KB42, KC11, KC12, KC13, KC14, KF0, KD11, KD12, KE1, KE2, KD21

COMMON KD22, KC21, KC22, KC23, KC24, KF11, KF12, KG1, KG2, KG3, KG4, KH11

COMMON KH12, KH21, KH22, KI1, KI2, IKONA, KST, JK0, KK0

COMMON N, IA, JA, I, LA1, LA2, LA3, LA4, IB1, IB1, IB2, IB2, IB3, LB3, IB4, LB4

COMMON IC1, LC11, LC12, LC13, IF0, ID1, LD1, IE, LE, ID2, LD2, IC2, LC21, LC22

COMMON LC23, IF1, LF1, IG, LG1, LG2, LG3, IH1, LH1, IH2, LH2, II, LI, ILONA, IK0

K = N + IA*(JA - I)

KK = K-1

KFUK1(IX) = K - IX*(KK/IX)

KFUK2(LX, IX) = K + LX - ((KK+LX)/IX)*IX

KM = N

KA1 = N

KA2 = KFUK2(LA1, IA)

KA3 = KFUK2(LA2, IA)

KA4 = KFUK2(LA3, IA)

KA5 = KFUK2(LA4, IA)

KB11 = KFUK1(IB1)

KB12 = KFUK2(LB1, IB1)

KB21 = KFUK1(IB2)

KB22 = KFUK2(LB2, IB2)

KB31 = KFUK1(IB3)

KB32 = KFUK2(LB3, IB3)

KB41 = KFUK1(IB4)

KB42 = KFUK2(LB4, IB4)

KC11 = KFUK1(IC1)

KC12 = KFUK2(LC11, IC1)

KC13 = KFUK2(LC12, IC1)

KC14 = KFUK2(LC13, IC1)

KF0 = KFUK1(IF0)

KD11 = KFUK1(ID1)

KD12 = KFUK2(LD1, ID1)

KE1 = KFUK1(IE)

KE2 = KFUK2(LE, IE)

KD21 = KFUK1(ID2)

KD22 = KFUK2(LD2, ID2)

KC21 = KFUK1(IC2)

KC22 = KFUK2(LC21, IC2)

KC23 = KFUK2(LC22, IC2)

KC24 = KFUK2(LC23, IC2)

KF11 = KFUK1(IF1)

KF12 = KFUK2(LF1, IF1)

KG1 = KFUK1(IG)

KG2 = KFUK2(LG1, IG)

KG3 = KFUK2(LG2, IG)

KG4 = KFUK2(LG3, IG)

KH11 = KFUK1(IH1)

KH12 = KFUK2(LH1, IH1)

KH21 = KFUK1(IH2)

KH22 = KFUK2(LH2, IH2)

KI1 = KFUK1(II)

KI2 = KFUK2(LI, II)

IKONA = KK/ILONA

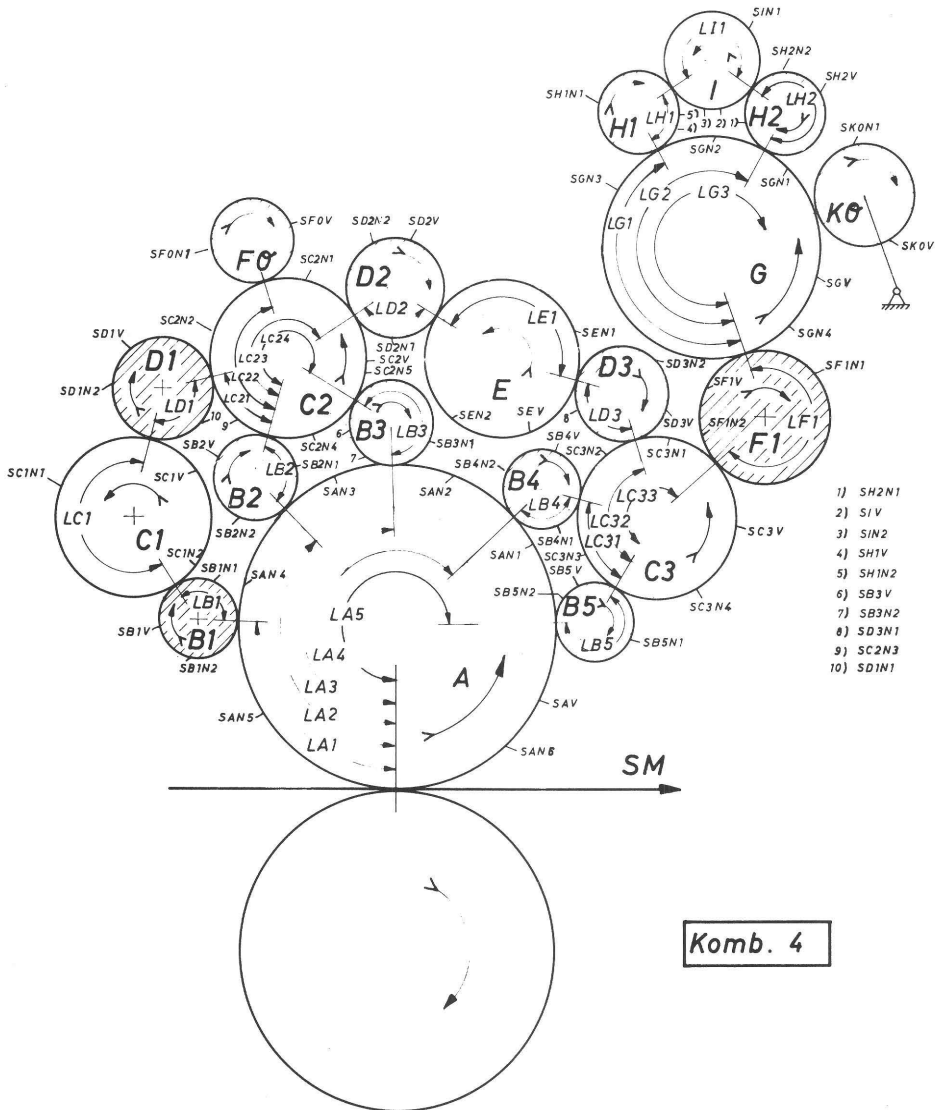
KST = K - IKONA*ILONA

JK0 = (KST-1)/IK0

KK0 = KST - JK0*IK0

RETURN

END



XIX

```

$IBFTC RF33    DECK
C
C    NUMERISCHE FARBFLOSSRECHNUNG DER KOMBINATION 4
C    KONTINUIERLICH
C    UX,UY,VX,VY SIND ZEICHENMASSTAEBE FUER DEN GRAPHOMATEN
    UX =35.
    UY =35.
    VX =20.
    VY =20.
C
C    EINLESEN DER FARBERWERKGEOMETRIE
C    IM,IA U.S.W. SIND DIE ABGEWICKELTEN UND AUFRUNDNETEN WALZENUMFAENGE
C    LA1,LA2 U.S.W. SIND DEN PHASENLAUFZEITEN
C    ENTSPRECHENDE VERSCHIEBUNGSSTRECKEN
    READ(5,1000) IM,IA,IB1,IB2,IB3,IB4,IB5,IC1,IC2,IC3
    READ(5,1000) ID1,ID2,ID3,IF0,IE,IF1,IG,IH1,IH2,II
    READ(5,1000) IK0,LA1,LA2,LA3,LA4,LA5,LB1,LB2,LB3,LB4
    READ(5,1000) LB5,LC1,LC21,LC22,LC23,LC24,LC31,LC32,LC33,LD1
    READ(5,1000) LD2,LD3,LE,LF1,LG1,LG2,LG3,LH1,LH2,LI
1000  FORMAT(10I5)
C
C    NDREHZ IST DIE VORGEGEBENE ANZAHL DER
C    ZU BERECHNENDEN ZYLINDERUMDEHUNGEN
C    I IST EINE HILFSGROESSE
    READ(5,1002) NDREHZ,I
1002  FORMAT( 2I5)
    COMMON KDR(100)
C
C    STEUERZAHLEN UND MASSTAEBE
    333 READ(5,1006) NTAKT,INA,KIKI,KBR,B1,B2,STA,STB,FIDA,KAB
1006  FORMAT(4I5 ,F5.1,F5.3,2A6,F5.1,I5)
C
C    ALPHA2,A2,W0,XQ SIND DIE KENNZAHLEN DER WALKER-FETZKO-FORMEL
C    ALPHA1 FARBSPALTUNGSFAKTOR ZWISCHEN STAHL- UND MASSEWALZEN
    READ(5,1004) A1,A2,ALPHA1,ALPHA2,W0,XQ
1004  FORMAT(6F6.2)
C
C    ANFANGSSCHICHTDICKEN FUER DIE ERSTE UMDREHUNG
    READ(5,1005) S1,S2,S3,S4,S5
1005  FORMAT(5F10.5)
C
C    KDR(L) IST EINE INDIZIERTE STEUERZAHL UND GIBT DIE VERTEILUNG DER
C    DRUCKENDEN UND NICHTDRUCKENDEN ELEMENTE AUF DER FORM AN
    READ(5,1003) (KDR(L),L=1,IA)
1003  FORMAT(20I4)
    NO =0
C
C    DIESE SCHLEIFE ERMITTELT DIE GESAMTHEIT DER NICHTDRUCKENDEN
C    ELEMENTE AUF DER FORM
    DO 580 L =1,IA
    IF(KDR(L)) 581,581,580
581  NO =NO + 1
580  CONTINUE
    WRITE(6,2000)
2000  FORMAT(1H1,10X,38HBERECHNUNG DER KOMBINATION 2.5.6.12.      /
1 120(1H*)/10X,25HDARMST.D.14.9.69.H.RECH                      )
    WRITE(6,2001) IM,IA,IB1,IB2,IB3,IB4,IB5,IC1,IC2,IC3
    WRITE(6,2001) ID1,ID2,ID3,IF0,IE,IF1,IG,IH1,IH2,II
    WRITE(6,2001) IK0,LA1,LA2,LA3,LA4,LA5,LB1,LB2,LB3,LB4
    WRITE(6,2001) LB5,LC1,LC21,LC22,LC23,LC24,LC31,LC32,LC33,LD1
    WRITE(6,2001) LD2,LD3,LE,LF1,LG1,LG2,LG3,LH1,LH2,LI
    WRITE(6,2002) NDREHZ,I
    WRITE(6,2003) (KDR(L),L=1,IA)
    WRITE(6,2004) A1,A2,ALPHA1,ALPHA2,W0,XQ
    WRITE(6,2005) S1,S2,S3,S4,S5
    WRITE(6,2006) NTAKT,INA,KIKI,KBR,B1,B2,STA,STB,FIDA ,KAB
2001  FORMAT(1H0,5X,10(2H**,I5,2H**))
2002  FORMAT(1H0,5X, 2(2H**,I5,2H**))
2003  FORMAT(1H0,(5X,20(1H*,I4)))
2004  FORMAT(1H0,5X,6(5X,F6.2))

```



```

2005 FORMAT(1H0,5X,5(5X,F5.1))
2006 FORMAT(1H0,5X,4(5X,I5),
1 5X,F5.1, 5X,F6.3, 2(5X,A6),5X,F7.2,2X,I5)
COMMON SM(100),IM,ND,J,NDREHZ,STB
COMMON K,KK,KM,KA1,KA2,KA3,KA4,KA5,KA6,KB11,KB12,KB21,KB22,KB31
COMMON KB32,KB41,KB42,KB51,KB52,KC11,KC12,KD11,KD12,KC21,KC22,KC23
COMMON KC24,KC25,KF0,KD21,KD22,KE1,KE2,KD31,KD32,KC31,KC32,KC33
COMMON KC34,KF11,KF12,KG1,KG2,KG3,KG4,KH11,KH12,KH21,KH22,KI1,KI2
COMMON IKONA,KST,JK0,KK0,N,IA,JA,I,LA1,LA2,LA3,LA4,LA5,IB1,LB1
COMMON IB2,LB2,IB3,LB3,IB4,LB4,IB5,LB5,IC1,LC1,ID1,LD1,IC2,LC21
COMMON LC22,LC23,LC24,IF0,ID2,LD2,IE,LE,ID3,LD3,IC3,LC31,LC32
COMMON LC33,IF1,LF1,IG,LG1,LG2,LG3,IH1,LH1,IH2,LH2,II,LI,ILONA,IK0
COMMON SAV(100),SAN6(100),SAN5(100),SAN4(100),SAN3(100),SAN2(100)
COMMON SAN1(100),SB1V(25),SB1N1(25),SB1N2(25),SB2V(25),SB2N1(25)
COMMON SB2N2(25),SB3V(25),SB3N1(25),SB3N2(25),SB4V(25),SB4N1(25)
COMMON SB4N2(25),SB5V(25),SB5N1(25),SB5N2(25),SC1V(50),SC1N1(50)
COMMON SC1N2(50),SD1V(30),SD1N1(30),SD1N2(30),SC2V(50),SC2N1(50)
COMMON SC2N2(50),SC2N3(50),SC2N4(50),SC2N5(50),SF0V(30),SF0N1(30)
COMMON SD2V(30),SD2N1(30),SD2N2(30),SEV(50),SEN1(50),SEN2(50)
COMMON SD3V(30),SD3N1(30),SD3N2(30),SC3V(50),SC3N1(50),SC3N2(50)
COMMON SC3N3(50),SC3N4(50),SF1V(50),SF1N1(50),SF1N2(50),SGV(70)
COMMON SGN1(70),SGN2(70),SGN3(70),SGN4(70),SH1V(25),SH1N1(25)
COMMON SH1N2(25),SH2V(25),SH2N1(25),SH2N2(25),SIV(30),SIN1(30)
COMMON SIN2(30),SK0V(40),SK0N1(40),XA(5),YA(5),XKOR(100)
COMMON Y1(100),Y2(100),Y3(100),Y4(100),Y5(100),Y6(100),Y7(100)
COMMON Y8(100),Y9(100),Y10(100)
IY = IK0 - KBR
ILONA = IFIX(FLOAT(IA)*FIDA)
FUGU(SXX)= ALPHA*SXX
C AEUSSERE SCHLEIFE , BEI ERHOEHUNG DES ZAEHLERS J BEGINNT EINE NEUE
C UMDREHUNG DES FORMZYLINDERS
J = I - 1
100 J = J + 1
JA = J
JM = J
KIBI = JM*KIKI - ((JM*KIKI+1)/IY)*IY
N = 0
101 N = N + 1
C AUFRUF DES UNTERPROGRAMMS
C ZUR ERZEUGUNG DER ERFORDERLICHEN SCHICHTDICKENINDICES
CALL RE33ST
IF(J - I) 50,60,50
C WERTZUWEISUNG FUER DIE ERSTE UMDREHUNG
60 SGN4(KG4) = S1
SGN3(KG1) = S1
SGN2(KG2) = S1
SGN1(KG3) = S1
SH1N2(KH11) = S1
SH1N1(KH12) = S1
SH2N2(KH21) = S1
SH2N1(KH22) = S1
SIN2 (KI2) = S1
SIN1 (KI1) = S1
SF1N1(KF11) = S1
SF1N2(KF12) = S1
SC3N4(KC34) = S1
SC3N3(KC31) = S1
SC3N2(KC32) = S1
SC3N1(KC33) = S1
SD3N2(KD32) = S1
SD3N1(KD31) = S1
SEN2 (KE2) = S1
SEN1 (KE1) = S1

```

SD2N2(KD22) =S1
 SD2N1(KD21) =S1
 SF0N1(KF0) =S1
 SC2N5(KC24) =S1
 SC2N4(KC25) =S1
 SC2N3(KC21) =S1
 SC2N2(KC22) =S1
 SC2N1(KC23) =S1
 SD1N2(KD12) =S1
 SD1N1(KD11) =S1
 SC1N2(KC12) =S1
 SC1N1(KC11) =S1
 SB1N2(KB12) =S1
 SB1N1(KB11) =S1
 SB2N2(KB22) =S1
 SB2N1(KB21) =S1
 SB3N2(KB32) =S1
 SB3N1(KB31) =S1
 SB4N2(KB42) =S1
 SB4N1(KB41) =S1
 SB5N2(KB52) =S1
 SB5N1(KB51) =S1
 SAN6 (KA6) =S1
 SAN5 (KA1) =S1
 SAN4 (KA2) =S1
 SAN3 (KA3) =S1
 SAN2 (KA4) =S1
 SAN1 (KA5) =S1

C WERTZUWEISUNG FUER DIE HEBERWALZE UNTER ANNAHME KONTINUIERLICHER ZUFUHR
 50 SK0V(KK0) =S2

C WERTZUWEISUNG FUER DIE NACHFOLGENDEN UMDREHUNGEN
 C FUER DIE EINLAUFENDEN SCHICHTDICKEN

SGV(KG4) =SGN4(KG4)
 SH2V(KH21) = SH2N2(KH21)
 SH1V(KH11) = SH1N2(KH11)
 SIV (KI2) = SIN2(KI2)
 SF1V(KF12) = SF1N2(KF12)
 SC3V(KC34) = SC3N4(KC34)
 SD3V(KD32) = SD3N2(KD32)
 SEV (KE2) = SEN2(KE2)
 SD2V(KD22) = SD2N2(KD22)
 SC2V(KC24) = SC2N5(KC24)
 SF0V(KF0) = SF0N1(KF0)
 SD1V(KD12) = SD1N2(KD12)
 SC1V(KC12) = SC1N2(KC12)
 SB1V(KB12) = SB1N2(KB12)
 SB2V(KB22) = SB2N2(KB22)
 SB3V(KB32) = SB3N2(KB32)
 SB4V(KB42) = SB4N2(KB42)
 SB5V(KB52) = SB5N2(KB52)
 SAV (KA6) = SAN6(KA6)

C LOESUNG DES GLEICHUNGSSYSTEMS FUER DEN FARBTTRANSPORT
 C VON DER HEBERWALZE BIS AUF DEN BEDRUCKSTOFF

SK0G = SGV(KG4) + SK0V(KK0)
 SK0N1(KK0) = FUGU(SK0G)
 SGN1(KG4) = SK0G - SK0N1(KK0)
 SGH2 = SGN1(KG3) + SH2V(KH21)
 SH2N1(KH21) = FUGU(SGH2)
 SGN2(KG3) = SGH2 - SH2N1(KH21)
 SGH1 = SGN2(KG2) + SH1V(KH11)
 SH1N1(KH11) = FUGU(SGH1)
 SGN3(KG2) = SGH1 - SH1N1(KH11)
 SH2I = SIV(KI2) + SH2N1(KH22)

XXII

```

SH2N2(KH22) = FUGU(SH2I)
SIN1(KI2) = SH2I - SH2N2(KH22)
SH1I = SIN1(KI1) + SH1N1(KH12)
SH1N2(KH12) = FUGU(SH1I)
SIN2(KI1) = SH1I - SH1N2(KH12)
SGF1 = SF1V(KF12) + SGN3(KG1)
SF1N1(KF12) = FUGU(SGF1)
SGN4(KG1) = SGF1 - SF1N1(KF12)
SF1C3 = SF1N1(KF11) + SC3V(KC34)
SF1N2(KF11) = FUGU(SF1C3)
SC3N1(KC34) = SF1C3 - SF1N2(KF11)
SC3D3 = SC3N1(KC33) + SD3V(KD32)
SD3N1(KD32) = FUGU(SC3D3)
SC3N2(KC33) = SC3D3 - SD3N1(KD32)
SC3B4 = SC3N2(KC32) + SB4V(KB42)
SB4N1(KB42) = FUGU(SC3B4)
SC3N3(KC32) = SC3B4 - SB4N1(KB42)
SC3B5 = SC3N3(KC31) + SB5V(KB52)
SB5N1(KB52) = FUGU(SC3B5)
SC3N4(KC31) = SC3B5 - SB5N1(KB52)
SD3E = SD3N1(KD31) + SEV (KE2)
SD3N2(KD31) = FUGU(SD3E)
SEN1(KE2) = SD3E - SD3N2(KD31)
SED2 = SEN1(KE1) + SD2V(KD22)
SD2N1(KD22) = FUGU(SED2)
SEN2(KE1) = SED2 - SD2N1(KD22)
SD2C2 = SC2V(KC24) + SD2N1(KD21)
SD2N2(KD21) = FUGU(SD2C2)
SC2N1(KC24) = SD2C2 - SD2N2(KD21)
SC2F0 = SC2N1(KC23) + SF0V(KF0)
SF0N1(KF0) = FUGU(SC2F0)
SC2N2(KC23) = SC2F0 - SF0N1(KF0)
SC2D1 = SC2N2(KC22) + SD1V(KD12)
SD1N1(KD12) = FUGU(SC2D1)
SC2N3(KC22) = SC2D1 - SD1N1(KD12)
SC2B2 = SB2V(KB22) + SC2N3(KC21)
SB2N1(KB22) = FUGU(SC2B2)
SC2N4(KC21) = SC2B2 - SB2N1(KB22)
SC2B3 = SC2N4(KC25) + SB3V(KB32)
SB3N1(KB32) = FUGU(SC2B3)
SC2N5(KC25) = SC2B3 - SB3N1(KB32)
SD1C1 = SD1N1(KD11) + SC1V(KC12)
SD1N2(KD11) = FUGU(SD1C1)
SC1N1(KC12) = SD1C1 - SD1N2(KD11)
SC1B1 = SC1N1(KC11) + SB1V(KB12)
SB1N1(KB12) = FUGU(SC1B1)
SC1N2(KC11) = SC1B1 - SB1N1(KB12)
IF(KDR(KA6)) 80,80,81
80 SAN1(KA6) =0.
SB5N2(KB51) = SB5N1(KB51)
GOTO 82
81 IF(KAB) 774,774,775
774 SB5N2(KB51) = SB5N1(KB51)
SAN1(KA6) = SAV(KA6)
GOTO 82
775 SB5A = SB5N1(KB51) + SAV(KA6)
SB5N2(KB51) = FUGU(SB5A)
SAN1(KA6) = SB5A - SB5N2(KB51)
82 IF(KDR(KA5)) 90,90,91
90 SAN2(KA5) = 0.
SB4N2(KB41) = SB4N1(KB41)
GOTO 92
91 SB4A = SB4N1(KB41) + SAN1(KA5)

```

```

SB4N2(KB41) = FUGU(SB4A)
SAN2(KA5) = SB4A - SB4N2(KB41)
92 IF(KDR(KA4)) 120,120,121
120 SAN3(KA4) = 0.
SB3N2(KB31) = SB3N1(KB31)
GOTO 122
121 SB3A = SB3N1(KB31) + SAN2(KA4)
SB3N2(KB31) = FUGU(SB3A)
SAN3(KA4) = SB3A - SB3N2(KB31)
122 IF(KDR(KA3)) 130,130,131
130 SAN4(KA3) = 0.
SB2N2(KB21) = SB1N1(KB21)
GOTO 132
131 SB2A = SB2N1(KB21) + SAN3(KA3)
SB2N2(KB21) = FUGU(SB2A)
SAN4(KA3) = SB2A - SB2N2(KB21)
132 IF(KDR(KA2)) 140,140,141
140 SAN5(KA2) = 0.
SB1N2(KB11) = SB1N1(KB11)
GOTO 142
141 SB1A = SB1N1(KB11) + SAN4(KA2)
SB1N2(KB11) = FUGU(SB1A)
SAN5(KA2) = SB1A - SB1N2(KB11)
142 IF(KDR(KA1)) 150,150,151
150 SM(KM) = 0.
SAN6(KA1) = SAN5(KA1)
GOTO 4000
151 Q1 = (-SAN5(KA1)/WO)
Q2 = (1.-(EXP(Q1)))*WO
Q3 = (A2 *SAN5(KA1))*XQ
Q4 = 1. -(EXP(-Q3))
SM(KM) = Q4*(Q2 + ALPHA2*(SAN5(KA1)-Q2))
SAN6(KA1) = SAN5(KA1) - SM(KM)
4000 IF(J- NDREHZ) 201,200,201
200 Y1(KM) = SM(KM) *B1 +UY
Y2(KM) = SAN6(KA1) *B1 +UY
Y3(KM) = SAN5(KA1) *B1 +UY
XKOR(KM) = FLOAT(KM) *B2 +UX
201 KY = JM-(JM/NTAKT)*NTAKT
IF(KY) 37,36,37
36 WRITE(6,2302) SAV(KA1),SAN1(KA1),SAN2(KA1),SAN3(KA1),SAN4(KA1),
1 SAN5(KA1),SAN6(KA1),SM(KM)
2302 FORMAT(8F10.5)
37 IF(N - IA) 101,106,106
C IM UNTERPROGRAMM RE0002 WERDEN DIE
C IN KAP. 6.3 ERLAEUTERTEN KENNZIFFERN GEBILDET
106 CALL RE0002
IF(J - NDREHZ) 100,107,107
107 CALL Z ANF F (STA,700.,300.,1.,1.)
XA(1) = UX
YA(1) = UY
XA(2) = UX +FLOAT(IA)*B2
YA(2) = YA(1)
XA(3) = XA(2)
YA(3) = YA(1)+250.
XA(4) = XA(1)
YA(4) = YA(3)
XA(5) = XA(1)
YA(5) = YA(1)
CALL Z POL F (XA,YA,5,3)
CALL Z PKT F3 (XKOR,Y1,IA,3)
CALL Z END F
C IM UNTERPROGRAMM RE0003 WERDEN DIE

```

XXIV

C IN KAP. 6.4.2 ERLAEUTERTEN KENNZIFFERN GEBILDET
CALL RE0003
GOTO 333
END

\$IBFTC RE33ST DECK

SUBROUTINE RE33ST

COMMON KDR(100)

COMMON SM(100),IM,NO,J,NDREHZ,STB

COMMON K, KK, KM, KA1, KA2, KA3, KA4, KA5, KA6, KB11, KB12, KB21, KB22, KB31

COMMON KB32, KB41, KB42, KB51, KB52, KC11, KC12, KD11, KD12, KC21, KC22, KC23

COMMON KC24, KC25, KF0, KD21, KD22, KE1, KE2, KD31, KD32, KC31, KC32, KC33

COMMON KC34, KF11, KF12, KG1, KG2, KG3, KG4, KH11, KH12, KH21, KH22, KI1, KI2

COMMON IKONA, KST, JK0, KK0, N, IA, JA, I, LA1, LA2, LA3, LA4, LA5, IB1, LB1

COMMON IB2, LB2, IB3, LB3, IB4, LB4, IB5, LB5, IC1, LC1, ID1, LD1, IC2, LC21

COMMON LC22, LC23, LC24, IF0, ID2, LD2, IE, LE, ID3, LD3, IC3, LC31, LC32

COMMON LC33, IF1, LG1, LG2, LG3, IH1, LH1, IH2, LH2, II, LI, ILONA, IK0

K = N + IA*(JA-I)

KK = K - 1

KFUK1(IX) = K - IX*(KK/IX)

KFUK2(LX, IX) = K + LX - ((KK+LX)/IX)*IX

KM = N

KA1 = N

KA2 = KFUK2(LA1, IA)

KA3 = KFUK2(LA2, IA)

KA4 = KFUK2(LA3, IA)

KA5 = KFUK2(LA4, IA)

KA6 = KFUK2(LA5, IA)

KB11 = KFUK1(IB1)

KB12 = KFUK2(LB1, IB1)

KB21 = KFUK1(IB2)

KB22 = KFUK2(LB2, IB2)

KB31 = KFUK1(IB3)

KB32 = KFUK2(LB3, IB3)

KB41 = KFUK1(IB4)

KB42 = KFUK2(LB4, IB4)

KB51 = KFUK1(IB5)

KB52 = KFUK2(LB5, IB5)

KC11 = KFUK1(IC1)

KC12 = KFUK2(LC1, IC1)

KD11 = KFUK1(ID1)

KD12 = KFUK2(LD1, ID1)

KC21 = KFUK1(IC2)

KC22 = KFUK2(LC21, IC2)

KC23 = KFUK2(LC22, IC2)

KC24 = KFUK2(LC23, IC2)

KC25 = KFUK2(LC24, IC2)

KF0 = KFUK1(IF0)

KD21 = KFUK1(ID2)

KD22 = KFUK2(LD2, ID2)

KE1 = KFUK1(IE)

KE2 = KFUK2(LE, IE)

KD31 = KFUK1(ID3)

KD32 = KFUK2(LD3, ID3)

KC31 = KFUK1(IC3)

KC32 = KFUK2(LC31, IC3)

KC33 = KFUK2(LC32, IC3)

KC34 = KFUK2(LC33, IC3)

KF11 = KFUK1(IF1)

KF12 = KFUK2(LF1, IF1)

KG1 = KFUK1(IG)

KG2 = KFUK2(LG1, IG)

KG3 = KFUK2(LG2, IG)

KG4 = KFUK2(LG3, IG)

KH11 = KFUK1(IH1)

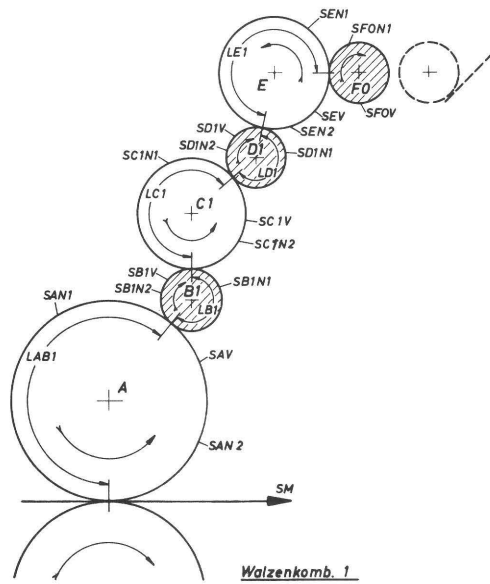
KH12 = KFUK2(LH1, IH1)

KH21 = KFUK1(IH2)

KH22 = KFUK2(LH2, IH2)

XXVI

KI1	= KFUK1(II)
KI2	= KFUK2(LI, II)
IKONA	= KK/ILONA
KST	= K - IKONA * ILONA
JK0	= (KST-1)/IK0
KK0	= KST - JK0 * IK0
RETURN	
END	



XXVIII

```

$IBFTC REL122
C
C      NUMERISCHE FARBFLOSSRECHNUNG DER KOMBINATION 1
C      *****
      UX      =      35.
      UY      =      35.
      VY      =      20.
      VX      =      20.
C      EINLESEN DER GEOMETRISCHEN KONSTANTEN
C      *****
      READ(5,1000) IM,IA,IB1,IC1,ID1,IE,IF0,LAB1,LB1,LC1
      READ(5,1001) LD1,LE1
      READ(5,1002) NDREHZ,I
1000 FORMAT(10I5)
1001 FORMAT( 2I5)
1002 FORMAT( 2I5)
C
C      EINLESEN DER VARIABLEN UND DER MASSTAEBE
C      *****
333 READ(5,1005) NTAKT,INA,KIKI,KBR,B1,B2,STA,STB,FIDA
1005 FORMAT(4I5,2F10.5,2A6,F5.1)
C
C      EINLESEN DER DRUCKENDEN ELEMENTE
C
      COMMON KDR(100)
      READ(5,1006) (KDR(L),L = 1,IA)
1006 FORMAT(20I4)
C      EINLESEN DER UEBERTRAGUNGSKONSTANTEN
C      *****
      READ(5,1003) A1,A2,ALPHA1,ALPHA2,W0,XQ
1003 FORMAT(6F6.2)
C
C      EINLESEN DER ANFANGSSCHICHTDICKEN
C      *****
      READ(5,1004) S1,S2,S3,S4,S5
1004 FORMAT(5F5.1)
      NO = 0
      DO 580 L = 1,IA
      IF (KDR(L)) 581,581,580
581 NO = NO + 1
580 CONTINUE
      WRITE(6,2000)
2000 FORMAT(1H1,10X,40H BERECHNUNG DER KOMBINATION 1.1.2.2
1 120(1H*))
      WRITE(6,2001)IM,IA,IB1,IC1,ID1,IE,IF0,LAB1,LB1,LC1
      WRITE(6,2002)LD1,LE1
      WRITE(6,2003)NDREHZ,I
      WRITE(6,2004) A1,A2,ALPHA1,ALPHA2,W0,XQ
      WRITE(6,2005) S1,S2,S3,S4,S5
      WRITE(6,2007) ( KDR(L) , L =1,IA)
      WRITE(6,2006) NTAKT,INA,KIKI,KBR,B1,B2,STA,STB,FIDA
2001 FORMAT(1H0,5X,10(2H**,I5,2H**))
2002 FORMAT(1H0,5X, 2(2H**,I5,2H**))
2003 FORMAT(1H0,5X, 2(2H**,I5,2H**))
2004 FORMAT(1H0,5X, 6(2H**,F6.2,2H**))
2005 FORMAT(1H0,5X, 5(2H**,F6.2,2H**))
2006 FORMAT(1H0,5X, 4(2H**,I5,2H**),2(1H*,F6.2,1H*),2(2X,A6),5X,F6.2)
2007 FORMAT(1H0,20(1H*,I5))
      COMMON SM(100),IM,NO,J,NDREHZ,STB
      COMMON K,KK,KM,KAO,KAL,KB11,KB12,KC11,KC12,KD11,KD12,KE1,KE2
      COMMON IKONA,KST,JF0,KFC,I,JA
      COMMON IA,N,LAB1,IB1,LB1,IC1,LC1,ID1,LD1,IE,LE1,ILCNA,IF0
      COMMON SF0V(30),SF0N1(30),SEV(70),SEN1(70),SEN2(70),SD1V(35)

```

XXIX

```

COMMON SD1N1(35),SD1N2(35),SC1V(50),SC1N1(50),SC1N2(50)
COMMON SB1V(25),SB1N1(25),SB1N2(25)
COMMON SAV(100),SAN1(100),SAN2(100)
COMMON Y1(100),Y2(100),Y3(100),Y4(100),Y5(100),Y6(100),Y7(100)
COMMON Y8(100),Y9(100),Y10(100),XKOR(100),XA(5),YA(5)
IY      =      IF0 - KBR
ILONA   = IFIX(FLOAT(IA)*FIDA)
FUGU(SXX) = ALPHA1* SXX
J      = I - 1
100 J    = J + 1
JA     = J
JM     = J
KIBI   = JM*KIKI - ((JM*KIKI+1)/IY)*IY
N      = 0
101 N    = N+1
CALL   REL2ST
IF(J-I) 50,60,50
60 SEN2 (KE2)      = S1
SD1N2(KD12)       = S1
SC1N2(KC12)       = S1
SB1N2(KB12)       = S1
SAN1 (KA0)        = S1
SAN2 (KA1)        = S1
SEN1(KE1)         = S1
SD1N1(KD11)       = S1
SC1N1(KC11)       = S1
SB1N1(KB11)       = S1
SF0N1(KF0)        = S1
50 SF0V(KF0)       = S2
SEV (KE2)         = SEN2(KE2)
SD1V(KD12)        = SD1N2(KD12)
SC1V(KC12)        = SC1N2(KC12)
SB1V(KB12)        = SB1N2(KB12)
SAV (KA1)         = SAN2(KA1)
SF0E              = SF0V(KF0) + SEV(KE2)
SF0N1(KF0)        = FUGU(SF0E)
SEN1(KE2)         = SF0E - SF0N1(KF0)
SED1              = SEN1(KE1) + SD1V(KD12)
SD1N1(KD12)       = FUGU(SED1)
SEN2(KE1)         = SED1 - SD1N1(KD12)
C
SD1C1             = SD1N1(KD11) + SC1V(KC12)
SD1N2(KD11)       = FUGU(SD1C1)
SC1N1(KC12)       = SD1C1 - SD1N2(KD11)
C
SC1B1             = SC1N1(KC11) + SB1V(KB12)
SB1N1(KB12)       = FUGU(SC1B1)
SC1N2(KC11)       = SC1B1 - SB1N1(KB12)
C
IF(KDR(KA1)) 30,30,31
30 SAN1(KA1)      = 0.
SB1N2(KB11)      = SB1N1(KB11)
GOTO 32
31 SB1A           = SB1N1(KB11) + SAV(KA1)
SB1N2(KB11)      = FUGU(SB1A)
SAN1(KA1)        = SB1A - SB1N2(KB11)
C
32 IF(KDR(KA0)) 220,220,221
221 Q1            = (-SAN1(KA0)/W0)
Q2               = (1.-(EXP(Q1)))*W0
Q3               = (A2* SAN1(KA0))**XQ
Q4               = 1. -(EXP(-Q3))
SM(KM)           = Q4*(Q2 +ALPHA2*(SAN1(KA0)-Q2))

```

XXX

```

SAN2(KA0)      = SAN1(KA0) -SM(KM)
GOTO 4000
220 SM(KM)      =0.
SAN2(KA0)      = SAN1(KA0)
IF(SAN2(KA0)) 144,4000,144
144 WRITE(6,2300) SAN2(KA0)
2300 FORMAT(10X,30HINDICES LAUFEN NICHT SAN2 =      , F8.4)
4000 IF(J - NDREHZ) 201,200,201
200 Y1(KM)      =SM(KM) * 40. + UY
Y2(KM)         = SAN1(KM) *24. + UY + 210.
Y3(KM)         = SAN2(KM) * 41. + UY + 90.
XKOR(KM)       = FLOAT(KM)*B2 +UX
201 KY          = JM - (JM/NTAKT)*NTAKT
IF(KY) 37,36,37
36 WRITE(6,2302) SM(KM),SAN2(KA0),SAN1(KA0),SB1N1(KB11),SB1N2(KB11),
1 SF0V(KF0),SF0N1(KF0)
2302 FORMAT(1H0,5X,7(2H**,F8.3))
37 IF(N- IA) 101,106,106
106 CALL RE0002
IF(J- NDREHZ) 100,107,107
107 CALL Z ANF F (STA,400.,650.,1.,1.)
XA(1) = UX
YA(1) = UY
XA(2) = UX+ FLOAT(IA)*B2
YA(2) = YA(1)
XA(3) = XA(2)
YA(3) = YA(1)+ 450.
XA(4) = XA(1)
YA(4) = YA(3)
XA(5) = XA(1)
YA(5) = YA(1)
CALL Z POL F (XA,YA,5,3)
CALL Z PKT F1 (XKOR,Y1 ,IA,2)
CALL Z PKT F2 (XKOR,Y2 ,IA,2)
CALL Z PKT F3 (XKOR,Y3 ,IA,2)
CALL Z END F
CALL RE0003
GOTO 333
END

```

XXXI

```
$I8FTC RE12ST  DECK
SUBROUTINE RE12ST
COMMON SM(100)
COMMON IM,NO,KDR,J,NDREHZ,STB
COMMON K,KK,KM,KAO,KA1,KB11,KB12,KC11,KC12,KD11,KD12,KE1,KE2
COMMON IKONA,KST,JF0,KF0,I,JA
COMMON IA,N,LAB1,IB1,LB1,IC1,LC1,ID1,LD1,IE,LE1,ILONA,IF0
K          = N +IA*(JA-I)
KK         = K-1
KFUK1(IX)  = K -IX*(KK/IX)
KFUK2(LX,IX) = K + LX- ((KK +LX)/IX)*IX
KM         = N
KA0        = N
KA1        = KFUK2(LAB1,IA)
KB11       = KFUK1(IB1)
KB12       = KFUK2(LB1,IB1)
KC11       = KFUK1(IC1)
KC12       = KFUK2(LC1,IC1)
KD11       = KFUK1(ID1)
KD12       = KFUK2(LD1,ID1)
KE1        = KFUK1(IE)
KE2        = KFUK2(LE1,IE)
IKONA      =KK/ILONA
KST        = K -IKONA *ILONA
JF0        = (KST-1)/IF0
KF0        = KST -JF0*IF0
RETURN
END
```


XXXIII

```

$IBFTC RE2415
C
C   NUMERISCHE FARBFLOSSRECHNUNG DER KOMBINATION 9
C   *****
FUGU(SXX) = ALPHA1* SXX
C   EINLESEN DER GEOMETRISCHEN KONSTANTEN
C   *****
READ(5,1000) IM, IA, IB1, IB2, IB3, IB4, IC1, IC2, ID1, ID2, ID3, ID4
READ(5,1000) IE1, IE2, IF0, IF1, IG1, IH, II, IK, IL, IN, IR, IS
READ(5,1000) IO, IP, IQ, LAB1, LAB2, LAB3, LAB4, LB1, LB2, LB3, LB4, LC21
READ(5,1000) LC11, LC12, LC13, LD1, LD21, LD22, LD31, LD32, LE2, LE11, LF1, LH
READ(5,1000) LF01, LF02, LF03, LG11, LG12, LI, LK, LL, LNI, LN2, LR, LO
READ(5,1001) LP, LC22, LE12, LC23
1000 FORMAT(12I5)
1001 FORMAT(4I5)
    READ(5,1002) NDREHZ, I
1002 FORMAT( 2I5)
C   EINLESEN DER UEBERTRAGUNGSKONSTANTEN
C   *****
READ(5,1003) A1, A2, ALPHA1, ALPHA2, WO, XQ
1003 FORMAT(6F8.2)
    COMMON KDR(100)
    READ(5,4404) (KDR(L), L=1, IA)
4404 FORMAT(20I4)
    333 READ(5,1006) NTAKT, INA, KIKI, KBR, B1, B2, STA, STB, FIDA
1006 FORMAT(4I5, 2F5.1, 2A6, F6.2)
C   EINLESEN DER ANFANGSSCHICHTDICKEN
    READ(5,1005) S1, S2, S3, S4, S5
1005 FORMAT(5F10.5)
    WRITE(6,2006)
2006 FORMAT(1H1, 5X, 40H BERECHNUNG DER KOMBINATION 2.4.15.10 /
1 120(1H*) / 5X, 40H DARMSTADT, DEN, 24.3.69, H. RECH /
2 120(1H*))
    WRITE(6,2000) IM, IA, IB1, IB2, IB3, IB4, IC1, IC2, ID1, ID2, ID3, ID4
    WRITE(6,2000) IE1, IE2, IF0, IF1, IG1, IH, II, IK, IL, IN, IR, IS
    WRITE(6,2000) IO, IP, IQ, LAB1, LAB2, LAB3, LAB4, LB1, LB2, LB3, LB4, LC21
    WRITE(6,2000) LC11, LC12, LC13, LD1, LD21, LD22, LD31, LD32, LE11,
1      LE2, LF1, LH
2000 FORMAT(1HC, 5X, 12(2X, I5) / 120(1H*))
    WRITE(6,2003) LF01, LF02, LF03, LG11, LG12, LI, LK, LL, LNI, LN2, LR, LO, LP, LQ
2003 FORMAT(1HC, 5X, 14(2X, I5) / 120(1H*))
    WRITE(6,2004) S1, S2, S3, S4, S5, A1, A2, ALPHA1, ALPHA2, WO, XQ
2004 FORMAT(5X, 120(1H*) / 11 F10.3 / 120(1H*))
    WRITE(6,4405) (KDR(L), L=1, IA)
4405 FORMAT(1HC, (5X, 20I4))
    WRITE(6,2005) NTAKT,          INA, KIKI, KBR, B1, B2, STA, STB, FIDA
2005 FORMAT(10X, 5X, 4(2X, I5), 2F6.2, 2(3X, A6), 2X, F5.1 / 120(1H*))
    COMMON SM(100), IM, NO, J, NDREHZ, STB
    COMMON N, K, KK, KM, KA0, KA1, KA2, KA3, KA4, KB11, KB12, KB21, KB22, KB31
    COMMON KB32, KB41, KB42, KC11, KC12, KC13, KC21, KC22, KC23, KD4, KC31, KD32
    COMMON KD33, KE21, KE22, KF11, KF12, KF01, KF02, KF03, KF04, KD11, KD12
    COMMON KD21, KD22, KD23, KE11, KE12, KE13, KG11, KG12, KG13, KH1, KH2, KI1
    COMMON KI2, KKK1, KKK2, KL1, KL2, KN1, KN2, KN3, KR1, KR2, KO1, KO2, KP1, KP2
    COMMON KS, KC14, KC24, IKJNA, KST, JQ, KQ, LB1, IB1, LB2, IB2, LB3, IB3
    COMMON LB4, IB4, LC11, IC1, LC12, IC2, LC21, LC22, ID4, ID3, LD31, LD32, IE2
    COMMON LE2, IF1, LF1, IF0, LF01, LF02, LF03, ID1, LD1, ID2, LD21, LD22, IE1
    COMMON LE11, LE12, IG1, LG11, LG12, IH, LH, II, LI, IK, LK, IL, LL, IN, LNI, LN2
    COMMON IR, LR, IO, LO, IP, LP, IS,   LC13, LC23, ILONA,   IQ
    COMMON I, JA, LAB1, LAB2, LAB3, LAB4, IA
    DIMENSION SQV(30), SQN1(30), SPV(31), SPN1(31), SOV(29), SON1(29),
1  SPN2(31), SSV(30), SSN1(30), SRV(35), SRN1(35), SRN2(35), SNV(35),
2  SNN1(35), SNN2(35), SLV(25), SLN1(25), SLN2(25), SKV(20), SKN1(20),
3  SKN2(20), SIV(31), SIN1(31), SIN2(31), SHV(26), SHN1(26), SHN2(26),

```

XXXIV

```

4  SG1V(30),SG1N1(30),SG1N2(30),SG1N3(30),SF0V(50),SF0N1(50),
5  SF0N2(50),SF0N3(50),SF0N4(50),SF1V(25),SF1N1(25),SF1N2(25),
6  SE2V(27),SE2N1(27),SE2N2(27),SD3V(25),SD3N1(25),SD3N2(25),
7  SD3N3(25),SD4V(22),SD4N1(22),SC2V(45),SC2N1(45),SC2N2(45)
   DIMENSION SC2V3(45),SC2N4(45),SB4V(26),SB4N1(26),SB4N2(26),
1  SB3V(26),SB3N1(26),SB3N2(26),SB2V(27),SB2N1(27),SB2N2(27),
2  SB1V(27),SB1V1(27),SB1N2(27),SE1V(35),SE1N1(35),SE1N2(35),
3  SE1N3(35),SD2V(25),SD2N1(25),SD2N2(25),SD2N3(25),SD1V(26),
4  SD1N1(26),SD1N2(26),SC1V(48),SC1N1(48),SC1N2(48),SC1N3(48),
5  SC1N4(48),SAV(100),          SAN1(100),SAN2(100),SAN3(100),
6  SAN4(100),SAN5(100),SON2(29),SNN3(35)
   NO      = 0
   DO 500 L=1,IA
   IF(KDR(L)) 581,581,580
581 NO      = NO + 1
580 CONTINUE
   ILONA    = IFIX(FLOAT(IA)*FIDA)
   KIBI     = KIKI + KBR
   J        = I -1
100 J       = J +1
   JA       = J
   JM       = J
   N        = 0
101 N       = N+1
   K        = N +IA*(JA-I)
   KK       = K -1
   CALL REG2ST
   IF(J-I) 50,60,50
60 SAN5(KA1) = S1
   SB1N2(KB12) = S1
   SB2N2(KB22) = S1
   SB3N2(KB32) = S1
   SB4N2(KB42) = S1
   SC1N4(KC14) = S1
   SC2N4(KC23) = S1
   SD3N3(KD33) = S1
   SD4N1(KD4 ) = S1
   SE2N2(KE22) = S1
   SF1N2(KF12) = S1
   SF0N4(KF02) = S1
   SD1N2(KD12) = S1
   SD2N3(KD23) = S1
   SE1N3(KE13) = S1
   SG1N3(KG13) = S1
   SHN2 (KH2 ) = S1
   SIN2 (KI2 ) = S1
   SKN2(KKK2)  =S1
   SLN2(KL2 )  =S1
   SNN3(KN3 )  =S1
   SRN2(KR2 )  =S1
   SSN1(KS )   =S1
   SON2(KO2 )  =S1
   SPN2(KP2 )  =S1
   IF(JQ) 277,277,50
277 SQN1(KQ)   = S1
50 IF(JQ) 702,700,702
700 IF(KQ.GT.KIKI.AND.KQ.LE.KIBI) GOTO 701
702 SQV(KQ)    = SQN1(KQ)
   GOTO 703
701 SQV(KQ)    = S2
703 SAV(KA1)   = SAN5(KA1)
   SB1V(KB12)  = SB1N2(KB12)
   SB2V(KB22)  = SB2N2(KB22)

```

```

SB3V(KB32) = SB3N2(KB32)
SB4V(KB42) = SB4N2(KB42)
SC1V(KC14) = SC1N4(KC14)
SC2V(KC23) = SC2N4(KC23)
SD3V(KD33) = SD3N3(KD33)
SD4V(KD4 ) = SD4N1(KD4 )
SE2V(KE22) = SE2N2(KE22)
SF1V(KF12) = SF1N2(KF12)
SF0V(KF02) = SF0N4(KF02)
SD1V(KD12) = SD1N2(KD12)
SD2V(KD23) = SD2N3(KD23)
SE1V(KE13) = SE1N3(KE13)
SG1V(KG13) = SG1N3(KG13)
SHV (KH2 ) = SHN2 (KH2 )
SIV (KI2 ) = SIN2 (KI2 )
SKV (KKK2) = SKN2 (KKK2)
SLV (KL2 ) = SLN2 (KL2 )
SNV (KN3 ) = SNN3 (KN3 )
SRV (KR2 ) = SRN2 (KR2 )
SSV (KS ) = SSN1 (KS )
SOV (KO2 ) = SON2 (KO2 )
SPV (KP2 ) = SPN2 (KP2 )
IF(JQ -INA) 450,451,451
451 SQN1(KQ) = SQV(KQ)
SPN1(KP 2) = SPV(KP 2)
GOTO 480
450 SQP = SQV(KQ) +SPV(KP2)
SQN1(KQ) = FUGU(SQP)
SPN1(KP2) = SQP -SQN1(KQ)
480 SPO = SPN1(KP1) + SOV(KO2)
SON1(KO2) = FUGU(SPO)
SPN2 (KP1) = SPO - SON1(KO2)
SSR = SSV(KS) + SRV(KR2)
SRN1(KR2)= FUGU(SSR)
SSN1(KS )= SSR - SRN1(KR2)
C
SRN = SNV(KN3) + SRN1(KR1)
SRN2(KR1)= FUGU(SRN)
SNN1(KN3)= SRN -SRN2(KR1)
C
SON = SNN1(KN2) +SON1(KO1)
SON2(KO1)= FUGU(SON)
SNN2(KN2)= SON - SON2(KO1)
C
SNL = SLV(KL2) + SNN2(KN1)
SLN1(KL2)= FUGU(SNL)
SNN3(KN1)= SNL - SLV1(KL2)
C
SLK = SKV(KKK2) + SLN1(KL1)
SLN2(KL1)= FUGU(SLK)
SKN1(KKK2) =SLK - SLN2(KL1)
C
SKI = SIV(KI2) + SKN1(KKK1)
SIN1(KI2)= FUGU(SKI)
SKN2(KKK1) = SKI - SIN1(KI2)
C
SIH = SHV(KH2) + SIN1(KI1)
SIN2(KI1) = FUGU(SIH)
SHN1(KH2) = SIH - SIN2(KI1)
C
SHG1 = SG1V(KG13)+ SHN1(KH1)
SG1N1(KG13) = FUGU(SHG1)
SHN2(KH1) = SHG1 - SG1N1(KG13)

```


XXXVI

C	BERECHNUNG	DES	1. STRANGES
C	SG1E1	=	SE1V(KE13) + SG1N1(KG12)
	SG1N2(KG12)	=	FUGU(SG1E1)
	SE1N1(KE13)	=	SG1E1 - SG1N2(KG12)
C	SG1F0	=	SF0V(KF02) + SG1N2(KG11)
	SG1N3(KG11)	=	FUGU(SG1F0)
	SF0N1(KF02)	=	SG1F0 - SG1N3(KG11)
C	SF1F0	=	SF1V(KF12) + SF0N1(KF01)
	SF1N1(KF12)	=	FUGU(SF1F0)
	SF0N2(KF01)	=	SF1F0 - SF1N1(KF12)
C	SF1E2	=	SE2V(KE22) + SF1N1(KF11)
	SF1N2(KF11)	=	FUGU(SF1E2)
	SE2N1(KE22)	=	SF1E2 - SF1N2(KF11)
C	SE2D3	=	SD3V(KD33) + SE2N1(KE21)
	SD3N1(KD33)	=	FUGU(SE2D3)
	SE2N2(KE21)	=	SE2D3 - SD3N1(KD33)
C	SF0D3	=	SF0N2(KF04) + SD3N1(KD32)
	SD3N2(KD32)	=	FUGU(SF0D3)
	SF0N3(KF04)	=	SF0D3 - SD3N2(KD32)
C	SD3C2	=	SC2V(KC23) + SD3N2(KD31)
	SD3N3(KD31)	=	FUGU(SD3C2)
	SC2N1(KC23)	=	SD3C2 - SD3N3(KD31)
C	SD4C2	=	SD4V(KD4) + SC2N1(KC22)
	SD4N1(KD4)	=	FUGU(SD4C2)
	SC2N2(KC22)	=	SD4C2 - SD4N1(KD4)
C	SC2B4	=	SB4V(KB42) + SC2N2(KC21)
	SB4N1(KB42)	=	FUGU(SC2B4)
	SC2N3(KC21)	=	SC2B4 - SB4N1(KB42)
C	SC2B3	=	SB3V(KB32) + SC2N3(KC24)
	SB3N1(KB32)	=	FUGU(SC2B3)
	SC2N4(KC24)	=	SC2B3 - SB3N1(KB32)
C	BERECHNUNG	DES	2. STRANGES
	SE1D2	=	SE1N1(KE12) + SD2V(KD22)
	SD2N1(KD22)	=	FUGU(SE1D2)
	SE1N2(KE12)	=	SE1D2 - SD2N1(KD22)
C	SE1D1	=	SD1V(KD12) + SE1N2(KE11)
	SD1N1(KD12)	=	FUGU(SE1D1)
	SE1N3(KE11)	=	SE1D1 - SD1N1(KD12)
C	SD1C1	=	SC1V(KC14) + SD1N1(KD11)
	SD1N2(KD11)	=	FUGU(SD1C1)
	SC1N1(KC14)	=	SD1C1 - SD1N2(KD11)
C	SD2C1	=	SC1N1(KC13) + SD2N1(KD21)
	SD2N2(KD21)	=	FUGU(SD2C1)
	SC1N2(KC13)	=	SD2C1 - SD2N2(KD21)
C	SF0D2	=	SD2N2(KD23) + SF0N3(KF03)
	SD2N3(KD23)	=	FUGU(SF0D2)
	SF0N4(KF03)	=	SF0D2 - SD2N3(KD23)
C	SC1B2	=	SB2V(KB22) + SC1N2(KC12)

XXXVII

```

SB2N1(KB22) = FUGU(SC1B2)
SC1N3(KC12) = SC1B2 - SB2N1(KB22)
C
SC1B1 = SC1N3(KC11) + SB1V(KB12)
SB1N1(KB12) = FUGU(SC1B1)
SC1N4(KC11) = SC1B1 - SB1N1(KB12)
C
FARBAUFTRAG
C
IF(KDR(KA1)) 30,30,31
30 SAN1(KA1) = 0.
SB1N2(KB11) = SB1N1(KB11)
GOTO 1640
C
31 SB1A = SB1N1(KB11) + SAV(KA1)
SB1N2(KB11) = FUGU(SB1A)
SAN1 (KA1 ) = SB1A - SB1N2(KB11)
C
1640 IF(KDR(KA2)) 40,40,41
40 SAN2(KA2) = 0.
SB2N2(KB21) = SB2N1(KB21)
GOTO 1740
C
41 SB2A = SAN1(KA2) + SB2N1(KB21)
SB2N2(KB21) = FUGU(SB2A)
SAN2(KA2) = SB2A - SB2N2(KB21)
C
1740 IF(KDR(KA3)) 70,70,71
70 SAN3(KA3) = 0.
SB3N2(KB31) = SB3N1(KB31)
GOTO 1840
C
71 SB3A = SB3N1(KB31) + SAN2(KA3)
SB3N2(KB31) = FUGU(SB3A)
SAN3(KA3) = SB3A - SB3N2(KB31)
C
1840 IF(KDR(KA4)) 90,90,91
90 SAN4(KA4) = 0.
SB4N2(KB41) = SB4N1(KB41)
GOTO 1940
C
91 SB4A = SAN3(KA4) + SB4N1(KB41)
SB4N2(KB41) = FUGU(SB4A)
SAN4(KA4) = SB4A - SB4N2(KB41)
C
1940 IF(KDR(KA0)) 220,220,221
221 Q1 = (-SAN4(KA0)/WD)
Q2 = (1. - (EXP(Q1)))*WD
Q3 = (A2 * SAN4(KA0))*XQ
Q4 = 1. - (EXP(-Q3))
SM(KM) = Q4*(Q2 + ALPHA2*(SAN4(KA0) - Q2))
SAN5(KA0) = SAN4(KA0) - SM(KM)
GOTO 4000
220 SM(KM) = 0.
SAN5(KA0) = SAN4(KA0)
IF(SAN5(KA0)) 144,4000,144
144 WRITE(6,2300) SAN5(KA0)
2300 FORMAT(10X,30HINDIZES LAUFEN FALSCH..SAN5 = ,F8.4)
4000 IF(J -NDREHZ ) 201,200,201
200 WRITE(6,8888) KM,SM(KM)
8888 FORMAT(10X,I10,F10.4)
201 KY = JM -(JM/NTAKT)*NTAKT
IF(KY) 37,36,37
36 WRITE(6,2033)SM(KM),SAN5(KA0),SAN4(KA4),SAN3(KA3),SAN2(KA2) ,

```

XXXVIII

```
1 SAN1(KA1),SC2N4(KC24),SC1N4(KC11),SIV(KI2) ,SQV(KQ),SQN1(KQ),
2 SPV(KP2),SPN1(KP2),KM,KD4,KQ,JQ
2033 FORMAT(1H0,2X,13(F7.3),4I5)
37 IF(N -IA) 101,106,106
106 CONTINUE
CALL RE0002
IF(J - NDREHZ)100,107,107
107 CONTINUE
CALL RE0003
GOTO 333
END
```

IXL

\$IBFTC RE02ST DECK

SUBROUTINE RE02ST

COMMON SM(100)

COMMON IM,NO,KDR,J,NDREHZ,STB

COMMON N,K,KK,KM,KA0,KA1,KA2,KA3,KA4,KB11,KB12,KB21,KB22,KB31

COMMON KB32,KB41,KB42,KC11,KC12,KC13,KC21,KC22,KC23,KD4,KD31,KD32

COMMON KD33,KE21,KE22,KF11,KF12,KF01,KF02,KF03,KF04,KD11,KD12

COMMON KD21,KD22,KD23,KE11,KE12,KE13,KG11,KG12,KG13,KH1,KH2,KI1

COMMON KI2,KKK1,KKK2,KL1,KL2,KN1,KN2,KN3,KR1,KR2,KO1,KO2,KP1,KP2

COMMON KS,KC14,KC24,IKONA,KST,JQ,KQ,LB1,IB1,LB2,IB2,LB3,IB3

COMMON LB4,IB4,LC11,IC1,LC12,IC2,LC21,LC22,ID4,ID3,LD31,LD32,IE2

COMMON LE2,IF1,LF1,IF0,LF01,LF02,LF03,ID1,LD1,ID2,LD21,LD22,IE1

COMMON LE11,LE12,IG1,LG11,LG12,IH,LH,II,LI,IK,LK,IL,LL,IN,LN1,LN2

COMMON IR,LR,IO,LO,IP,LP,IS, LC13,LC23,ILONA, IQ.

COMMON I,JA,LAB1,LAB2,LAB3,LAB4,IA

K = N +IA*(JA-I)

KK = K -1

KM = N

KA0 = N

KFUK1(IX) = K -IX*(KK/IX)

KFUK2(LX,IX) = K +LX - ((KK+LX)/IX)*IX

KA1 = KFUK2(LAB1,IA)

KA2 = KFUK2(LAB2,IA)

KA3 = KFUK2(LAB3,IA)

KA4 = KFUK2(LAB4,IA)

KB11 = KFUK1(1B1)

KB12 = KFUK2(LB1,1B1)

KB21 = KFUK1(1B2)

KB22 = KFUK2(LB2,1B2)

KB31 = KFUK1(1B3)

KB32 = KFUK2(LB3,1B3)

KB41 = KFUK1(1B4)

KB42 = KFUK2(LB4,1B4)

KC11 = KFUK1(1C1)

KC12 = KFUK2(LC11,1C1)

KC13 = KFUK2(LC12,1C1)

KC14 = KFUK2(LC13,1C1)

KC21 = KFUK1(1C2)

KC22 = KFUK2(LC21,1C2)

KC23 = KFUK2(LC22,1C2)

KC24 = KFUK2(LC23,1C2)

KD4 = KFUK1(1D4)

KD31 = KFUK1(1D3)

KD32 = KFUK2(LD31,1D3)

KD33 = KFUK2(LD32,1D3)

KE21 = KFUK1(1E2)

KE22 = KFUK2(LE2,1E2)

KF11 = KFUK1(1F1)

KF12 = KFUK2(LF1,1F1)

KF01 = KFUK1(1F0)

KF02 = KFUK2(LF01,1F0)

KF03 = KFUK2(LF02,1F0)

KF04 = KFUK2(LF03,1F0)

KD11 = KFUK1(1D1)

KD12 = KFUK2(LD1,1D1)

KD21 = KFUK1(1D2)

KD22 = KFUK2(LD21,1D2)

KD23 = KFUK2(LD22,1D2)

KE11 = KFUK1(1E1)

KE12 = KFUK2(LE11,1E1)

KE13 = KFUK2(LE12,1E1)

KG11 = KFUK1(1G1)

KG12 = KFUK2(LG11,1G1)

XL

```
KG13      = KFUK2(LG12,IG1)
KH1       = KFUK1(IH)
KH2       = KFUK2(LH,IH)
KI1       = KFUK1(II)
KI2       = KFUK2(LI,II)
KKK1      = KFUK1(IK)
KKK2      =KFUK  2(LK,IK)
KL1       = KFUK1(IL)
KL2       = KFUK2(LL,IL)
KN1       = KFUK1(IN)
KN2       = KFUK2(LN1,IN)
KN3       = KFUK2(LN2,IN)
KR1       = KFUK1(IR)
KR2       = KFUK2(LR,IR)
KO1       = KFUK1(IO)
KO2       = KFUK2(LO,IO)
KP1       = KFUK1(IP)
KP2       = KFUK2(LP,IP)
KS        = KFUK1(IS)
IKONA     =KK /ILONA
KST       = K -IKONA*ILONA
JQ        = (KST-1)/IQ
KQ        = KST - JQ*IQ
RETURN
END
```